



# **COMPOSTAGEM DE RESÍDUOS VERDES E AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DOS COMPOSTOS OBTIDOS - CASO DE ESTUDO DA ALGAR S.A.**

**Nathalie Marcelino Cordeiro**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em  
**Engenharia do Ambiente – Tecnologias Ambientais**

Orientadora: Professora Doutora Ana Cristina Ferreira da Cunha Queda

Co-orientador: Engenheiro Luís Miguel Batista Calado Nunes

**Júri:**

Presidente: - Doutora Elizabeth da Costa Neves Fernandes de Almeida Duarte, Professora Catedrática do Instituto Superior de Agronomia da Universidade Técnica de Lisboa.

Vogais: - Doutora Ana Cristina Ferreira da Cunha Queda, Professora Auxiliar do Instituto Superior de Agronomia da Universidade Técnica de Lisboa;

- Licenciado Luís Miguel Batista Calado Nunes, Director de Actividades Complementares da ALGAR, Valorização e Tratamento de Resíduos Sólidos, S.A., na qualidade de especialista;

- Licenciada Susana Isabel Alão de Oliveira, Técnica de Actividades Complementares da ALGAR, Valorização e Tratamento de Resíduos Sólidos, S.A., na qualidade de especialista.

Lisboa, 2010

## AGRADECIMENTOS

Ao Professor Catedrático Raul Bruno de Sousa, Presidente do antigo Departamento de Química Agrícola e Ambiental do Instituto Superior de Agronomia, por ter disponibilizado as instalações para a realização da parte prática deste trabalho.

À minha orientadora Professora Doutora Ana Cristina Ferreira da Cunha Queda, do antigo Departamento de Química Agrícola e Ambiental do Instituto Superior de Agronomia, por me ajudado na elaboração deste trabalho e pela amizade não só durante estes meses mas desde o meu primeiro ano de faculdade.

Este trabalho não era possível sem a contribuição da ALGAR S.A., em nome do Engenheiro Miguel Nunes por ter sido meu co-orientador, e principalmente agradeço à Engenheira Susana Oliveira pela incansável ajuda, amizade e acompanhamento sempre que foi necessário ir ao Aterro do Barlavento.

À Engenheira Marie-Christine Morais pela ajuda em todo o trabalho prático realizado no laboratório.

Agradeço a muitos dos amigos que fiz durante a faculdade especialmente à Marisa e ao Pedro por tudo o que partilhámos desde o primeiro dia, assim como à Andreia e novamente à Marisa e as respectivas famílias por me terem ajudado nestes últimos meses de trabalho ao partilharem comigo o seu dia-a-dia.

Ficando para último o mais importante, agradeço à minha querida família, ao meu Papá e Maman, à minha Mana e à minha Ninina por serem os pilares da minha vida e por todo o amor, carinho, paciência e encorajamento. Também agradeço ao Ricardo pelo apoio incondicional, cumplicidade e por tornar os meus dias mais felizes, assim como aos seus pais pelo carinho e amizade.

## RESUMO

A compostagem é uma das alternativas mais viáveis para uma eficaz gestão de resíduos sólidos, sendo uma tecnologia vantajosa no tratamento, reciclagem e valorização de biomassas.

Este trabalho teve como objectivo avaliar a evolução da compostagem de Resíduos Verdes da Estação de Compostagem do Barlavento pertencente à ALGAR S.A., pela determinação dos parâmetros físicos, físico-químicos e químicos das amostras da biomassa em compostagem e dos compostos finais. Outro objectivo deste trabalho foi a avaliação da fitotoxicidade dos compostos através de ensaios de germinação e crescimento para a determinação dos respectivos índices, utilizando as seguintes espécies vegetais: Agrião (*Lepidium sativum* L.), Alface (*Lactuca sativa* L.) e Tomate (*Lycopersicum esculentum* L.).

Os resultados obtidos indicam que os parâmetros avaliados nas amostras sofreram algumas variações relacionadas com as oscilações das condições meteorológicas já que o processo de compostagem se realizou num parque ao ar livre. Os resultados relativos aos compostos finais estudados indicam que os mesmos apresentam estabilidade e maturação adequadas.

**Palavras-Chave:** Compostagem, Resíduos Verdes, Fitotoxicidade, Qualidade dos compostos, Índice de germinação/Crescimento, Avaliação da Estabilidade/Maturação.

## **ABSTRACT**

Composting is one of the most viable alternatives for effective solid waste management and is an advantageous technology in the treatment, recycling and recovery of biomass.

This study aimed to evaluate the evolution of Green Waste Composting in the Composting Plant of Barlavento which belongs to ALGAR S.A., through determination of physical, physico-chemical and chemical parameters in samples of biomass in composting and final composts. Another objective of this study was to assess the phytotoxicity of composts using germination and growth tests with following species: Watercress (*Lepidium sativum* L.), Lettuce (*Lactuca sativa* L.) and Tomato (*Lycopersicon esculentum* L.).

Results show some variation for the parameters measured in the samples taken during composting process which can be related to fluctuations in weather conditions, because composting process took place in an outdoor park. Results for germination and growth tests indicate that the final composts have adequate stability and maturation levels.

**Key-words:** Composting, Green Waste, Phytotoxicity, Composts quality, Germination/Growth index, Stability/maturation evaluation.

## EXTENDED ABSTRACT

Current policies of the European Union regarding waste management indicate as a priority the reduction of organic flows to be landfilled, being preferable the recycling (through the collection and subsequent treatment / recovery) than incineration and deposition in landfill. So each waste has its own management and routing to the appropriate destination according to their characteristics.

Composting is one of the most viable alternatives for effective solid waste management and it is an advantageous technology for the treatment, recycling and recovery of biomass. For the environment, the benefits result in the decrease of the confinement of biodegradable organic waste in landfills. For agriculture, among the many benefits of compost, is a source of organic matter, which is scarce in most Portuguese soils.

To ensure consumer confidence in general and proper agricultural use, it is important to do a quality assessment of products obtained by composting. Testing germination and growth are methods proposed by several authors to evaluate the potential phytotoxicity of compost, and are important for the prediction of damaging effects of compost in the crops.

This study aimed to study the evolution of Green Waste Composting in the Composting Plant of Barlavento which belongs to the ALGAR S.A., through the determination of physical, physico-chemical and chemical parameters in samples of biomass in composting and final composts. Another objective of this study was to assess the phytotoxicity of composts using germination growth tests with the following species: Watercress (*Lepidium sativum* L.), Lettuce (*Lactuca sativa* L.) and Tomato (*Lycopersicon esculentum* L.).

Results show some variation for the parameters measured in the samples taken during composting process which can be related to fluctuations in weather conditions, because composting process took place in an outdoor park. Some loss of nitrogen occurred during process and it was coincident with the periods of high temperature and pH. Conditions that promote the losses of nitrogen through ammonia.

Results of parameters evaluated in the final composts - CF<sub>2</sub>, CF<sub>7</sub> and CF<sub>9</sub> - and taking into account the Portuguese proposal for the technical standards of quality and uses of composts, show that composts have moisture content above the limit (less than 40%).

The content of organic matter for all composts is above 30% (minimum required). As far the pH (which should be between 5,5 and 8,5) only compost CF<sub>7</sub> is out of that range.

Results for germination and growth tests indicate that the final composts have adequate stability and maturation levels.

**Key-words:** Composting, Green Waste, Phytotoxicity, Composts quality, Germination/Growth index, Stability/maturation evaluation.

## ÍNDICE GERAL

	Pág.
ÍNDICE DE FIGURAS.....	ix
ÍNDICE DE QUADROS.....	xi
LISTA DE ABREVIATURAS.....	xii
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
2.1. PERSPECTIVA HISTÓRICA.....	4
2.2. A COMPOSTAGEM. CONCEITOS.....	5
2.3. RESÍDUOS ORGÂNICOS COMPOSTÁVEIS.....	7
2.4 ETAPAS DA COMPOSTAGEM.....	9
2.5. FACTORES QUE INTERFEREM NO PROCESSO DE COMPOSTAGEM.....	11
2.5.1. NUTRIENTES E RELAÇÃO C/N.....	12
2.5.2. GRANULOMETRIA DO MATERIAL.....	14
2.5.3. AREJAMENTO.....	15
2.5.4. TEOR DE HUMIDADE.....	17
2.5.5. pH.....	18
2.5.6. TEMPERATURA.....	19
2.6. DINÂMICA DO AZOTO.....	21
2.7. POPULAÇÕES MICROBIANAS.....	22
2.8. DURAÇÃO DO PROCESSO DE COMPOSTAGEM.....	23
2.9. MÉTODOS DE COMPOSTAGEM.....	24
2.10. AVALIAÇÃO DA ESTABILIZAÇÃO/MATURAÇÃO DOS COMPOSTOS.....	25
2.10.1. TESTE DE AUTO-AQUECIMENTO.....	27
2.10.2. FITOTOXICIDADE.....	28
2.11. QUALIDADE DOS COMPOSTOS.....	30
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	32
3.1. DESCRIÇÃO DA ALGAR S.A.....	32

3.2. BIOMASSAS UTILIZADAS NO PROCESSO DE COMPOSTAGEM.....	34
3.3. CARACTERIZAÇÃO DOS ENSAIOS DE COMPOSTAGEM. AMOSTRAGEM.....	35
3.4. MÉTODOS DE ANÁLISE.....	38
3.4.1. PARÂMETROS FÍSICOS E FÍSICO-QUÍMICOS.....	38
❖ TEMPERATURA.....	38
❖ MASSA VOLÚMICA.....	38
❖ GRANULOMETRIA.....	38
❖ TEOR DE HUMIDADE.....	38
❖ pH E CONDUTIVIDADE ELÉCTRICA.....	39
3.4.2. PARÂMETROS QUÍMICOS.....	39
❖ MATÉRIA ORGÂNICA E CARBONO TOTAL.....	39
❖ AZOTO AMONÍACAL ( $\text{N-NH}_4^+$ ) .....	39
❖ AZOTO NÍTRICO ( $\text{N-NO}_3$ ) .....	40
❖ AZOTO TOTAL.....	40
❖ RELAÇÃO C/N.....	40
3.4.3. AVALIAÇÃO DA ESTABILIDADE/MATURAÇÃO.....	40
3.4.3.1. TESTE DO AUTO-AQUECIMENTO.....	40
3.4.3.2. ACTIVIDADE RESPIRATÓRIA AO FIM DE 4 DIAS (AT4).....	41
3.4.3.3. AVALIAÇÃO DA FITOTOXICIDADE.....	42
❖ ÍNDICE DE GERMINAÇÃO.....	42
❖ ÍNDICE DE CRESCIMENTO.....	44
3.4.4. ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS RESULTADOS.....	45
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	46
5. CONCLUSÕES.....	61
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	64
ANEXOS	



## ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
<b>Figura 2.1.</b> Esquema geral do processo de compostagem.....	6
<b>Figura 2.2.</b> Resíduos orgânicos potencialmente utilizáveis na compostagem.....	9
<b>Figura 2.3.</b> Condicionamento de uma biomassa com um agente de suporte e um agente condicionante.....	10
<b>Figura 2.4.</b> Esquema simplificado da evolução de um processo de compostagem....	11
<b>Figura 2.5.</b> Diagrama dos factores mais importantes que afectam a decomposição dos substratos durante a compostagem.....	12
<b>Figura 2.6.</b> Efeito da variação da relação C/N no tempo de compostagem.....	13
<b>Figura 2.7.</b> Relação entre a dimensão das partículas e a actividade dos microrganismos.....	15
<b>Figura 2.8.</b> Curva teórica das necessidades em oxigénio durante a compostagem...	16
<b>Figura 2.9.</b> – Curva das principais variações de pH durante a compostagem.....	18
<b>Figura 2.10.</b> – Perfil típico de temperatura numa pilha aeróbia.....	20
<b>Figura 2.11.</b> – Dinâmica do azoto no processo de compostagem.....	21
<b>Figura 2.12.</b> – Evolução da temperatura e do pH durante a compostagem.....	23
<b>Figura 3.1.</b> Aterro Sanitário do Barlavento (Portimão).....	32
<b>Figura 3.2.</b> Mapa de Infraestruturas da ALGAR S.A.....	33
<b>Figura 3.3.</b> Resíduos Verdes antes da trituração.....	34
<b>Figura 3.4.</b> Máquina de destroçamento (triturador).....	35
<b>Figura 3.5.</b> Máquina com pá carregadora.....	35
<b>Figura 3.6.</b> Máquina de revolvimento.....	36
<b>Figura 3.7.</b> Pilhas de Compostagem.....	36
<b>Figura 3.8.</b> Equipamento de crivagem.....	37
<b>Figura 3.9.</b> Diagrama do processo de compostagem.....	37
<b>Figura 3.10.</b> <i>Dewar</i> (esquerda com amostra; direita com composto final).....	40

<b>Figura 3.11.</b> Aspecto geral da prensa hidráulica e pormenor do crivo e do êmbolo do cilindro utilizados na obtenção do extracto aquoso das amostras, para a avaliação da fitotoxicidade.....	42
<b>Figura 3.12.</b> Placas de Petri dos ensaios de germinação, a da esquerda placa testemunha, a da direita com extracto aquoso.....	43
<b>Figura 3.13.</b> Placas de Petri dos ensaios de germinação, estufa de incubação.....	43
<b>Figura 3.14.</b> Parte aérea das plantas e secagem do material vegetal na estufa.....	45
<b>Figura 4.1.</b> Evolução da temperatura média da pilha e das temperaturas máxima e mínima exterior durante o processo de compostagem da Pilha 2.....	46
<b>Figura 4.2.</b> Evolução da temperatura média da pilha e das temperaturas máxima e mínima exterior durante o processo de compostagem da Pilha 7.....	46
<b>Figura 4.3.</b> Evolução da temperatura média da pilha e das temperaturas máxima e mínima exterior durante o processo de compostagem da Pilha 9.....	47
<b>Figura 4.4.</b> Aspecto geral do ensaio de crescimento, com as espécies Alface, Agrião e Tomate.....	57
<b>Figura 4.5.</b> Aspecto de colónias de <i>Coprinus comatus</i> observadas nos ensaios de crescimento com o composto.....	58
<b>Figura 4.6.</b> Aspecto do ensaio de crescimento com o Tomate.....	59
<b>Figura 4.7.</b> Diferenças estruturais entre as espécies e aspecto dos EB da Alface e do Agrião.....	59
<b>Figura 4.8.</b> Preparação das plantas obtidas no ensaio de crescimento para avaliação dos pesos secos e posterior determinação do Índice de Crescimento.....	60

## ÍNDICE DE QUADROS

	<b>Pág.</b>
<b>Quadro 1.1.</b> Limites de deposição RUB em aterro.....	1
<b>Quadro 2.1.</b> Classificação dos resíduos orgânicos compostáveis.....	8
<b>Quadro 2.2.</b> Relações de C/N óptimas para a compostagem.....	13
<b>Quadro 2.3.</b> Classificação dos métodos de compostagem.....	24
<b>Quadro 2.4.</b> Métodos utilizados para a avaliação da estabilização/maturação de compostos.....	27
<b>Quadro 2.5.</b> Classes de estabilidade para compostos.....	28
<b>Quadro 3.1.</b> Quantidades anuais (toneladas) de composto produzido nas estações de compostagem da ALGAR S.A.....	33
<b>Quadro 3.2.</b> Quantidades anuais (kg) de resíduos verdes compostáveis e não compostáveis das estações de compostagem da ALGAR S.A.....	34
<b>Quadro 4.1.</b> Evolução dos parâmetros analisados nas amostras $T_2$ , $T_{23}$ , $T_{44}$ e $T_{65}$ da Pilha 2.....	47
<b>Quadro 4.2.</b> Resultados dos parâmetros analisados nos compostos $CF_2$ , $CF_7$ e $CF_9$ ...	50
<b>Quadro 4.3.</b> Caracterização química e microbiológica de um composto analisado pela Algar.....	53
<b>Quadro 4.4.</b> Granulometria e teor de pedras e inertes para os compostos $CF_2$ , $CF_7$ e $CF_9$ .....	54
<b>Quadro 4.5.</b> Índice de Germinação (IG) para as espécies Agrião, Alface e Tomate, com os extractos dos compostos $CF_2$ , $CF_7$ e $CF_9$ .....	55
<b>Quadro 4.6.</b> Índice de Crescimento (IC) para as espécies Agrião, Alface e Tomate, com os compostos $CF_2$ , $CF_7$ e $CF_9$ .....	56

## **LISTA DE ABREVIATURAS**

**RUB** - Resíduos Urbanos Biodegradáveis.

**IG** - Índice de Germinação.

**IC** - Índice de Crescimento.

**T<sub>2</sub>** - Amostra da Pilha 2 retirada no dia 2 do processo.

**T<sub>23</sub>** - Amostra da Pilha 2 retirada no dia 23 do processo.

**T<sub>44</sub>** - Amostra da Pilha 2 retirada no dia 44 do processo.

**T<sub>65</sub>** - Amostra da Pilha 2 retirada no dia 65 do processo.

**CF<sub>2</sub>** - Composto final da Pilha 2.

**CF<sub>7</sub>** - Composto final da Pilha 7.

**CF<sub>9</sub>** - Composto final da Pilha 9.

## 1. INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, devido aos níveis de progresso dos países desenvolvidos houve um incremento na produção de resíduos, que motivaram a urgente definição de tecnologias e acções políticas de forma a solucionar o problema da limitação técnica e económica dos espaços adequados para o destino final de resíduos.

As políticas actuais da União Europeia no que diz respeito à gestão de resíduos apontam como primordial prioridade a redução dos fluxos a depositar em aterro, sendo preferível a reciclagem (através da recolha selectiva e posterior tratamento/valorização), do que a incineração, e a deposição em aterro, assim cada resíduo tem a sua própria gestão e encaminhamento para o destino adequado de acordo com as suas características.

A nível nacional, o Decreto-Lei n.º 152/2002, de 23 de Maio estabelece, para três períodos distintos – 2006, 2009 e 2016, uma redução gradual, respectivamente de 25, 50 e 65 % de Resíduos Urbanos Biodegradáveis (RUB) a serem depositados em aterro, tendo por base a produção de resíduos (fracção putrescível) referente ao ano de 1995 (Quadro 1.1).

**Quadro 1.1.** Limites de deposição RUB em aterro  
(Decreto-Lei 152/2002).

<b>Data</b>	<b>% Admissível</b>
<b>Janeiro 2006</b>	75%
<b>Janeiro 2009</b>	50%
<b>Janeiro 2016</b>	35%

A Estratégia Nacional para a Redução de RUB destinados a aterros estabelece os seguintes princípios orientadores com o objectivo de minimizar a deposição de RUB a enviar para aterro: recolha selectiva da matéria orgânica; construção de novas unidades de valorização; optimização das unidades existentes/a construir; produção gradual de composto a partir da recolha selectiva da matéria orgânica; garantia da qualidade do composto.

A fracção orgânica deve ter um tratamento apropriado, que passa pela sua valorização biológica, com custos acessíveis. Nesta perspectiva, a compostagem constitui a solução

apropriada por permitir redução de custos com a deposição em aterro, bem como pelo facto de produzir um correctivo orgânico com valor para a utilização em solos com baixo teor de matéria orgânica e nutrientes, ao mesmo tempo tendo em conta a protecção da qualidade dos solos, das águas subterrâneas e superficiais, bem como da saúde humana e dos animais.

De acordo com Boldrin e Christensen (2010), por definição, os resíduos verdes apenas existem quando são recolhidos. Estão disponíveis poucos dados estatísticos em matéria de produção de resíduos verdes. Em muitos países europeus os resíduos verdes são recolhidos misturados com restos de alimentos e os dados estatísticos sobre estas duas fracções de resíduos, são assim muitas vezes confundidos (Eurostat, 2005). Todavia, na maioria das cidades desenvolvidas do mundo os resíduos verdes, são rotineiramente recolhidos separadamente dos outros resíduos (Belyaeva e Haynes, 2009).

Os resíduos verdes são gerados durante a manutenção de jardins privados e parques públicos. Consiste em material orgânico (por exemplo relva cortada, folhas e ramos de poda) e inorgânico (por exemplo pedras). Dada a sua origem, espera-se que os resíduos verdes sejam variados tanto na sua composição como nas quantidades produzidas, dependendo de factores tais como as estações do ano e o local (por exemplo clima, população e as estratégias de gestão de resíduos).

A composição dos resíduos verdes é relatada em alguns estudos. Ham e Komilis (2003) e Benito *et al.* (2005) apresentaram, respectivamente, uma caracterização individual de resíduos verdes para os EUA e Espanha, enquanto Williams (2005) relatou sobre a caracterização de várias fracções de material. Nestes estudos, os pontos centrais foram os parâmetros que caracterizam a fracção orgânica, como sejam os teores de C, N e a relação C/N.

Bary *et al.* (2005) ao recolherem cinco vezes amostras de resíduos verdes durante a Primavera e Verão em quatro instalações de compostagem diferentes nos EUA verificaram uma variação composicional entre as instalações tendo os resultados analíticos incluído uma ampla gama de parâmetros físico-químicos. A partir deste estudo os mesmos autores concluíram que foram as relvas cortadas a principal fonte de variação. Ward *et al.* (2005) recolheram em cada mês durante um ano inteiro, amostras de nove instalações de compostagem diferentes no Reino Unido e determinaram o teor de matéria orgânica, cloro, azoto, carbono e potássio, assim como a relação C/N. O estudo mostrou padrões sazonais para os teores de azoto e potássio.

Segundo Beckett e Davis (1977) e Davis *et al.* (1977), o termo fitotoxicidade está normalmente associado ao fenómeno de acumulação, nos tecidos das plantas, de substâncias potencialmente nocivas, em níveis que podem afectar o seu crescimento e desenvolvimentos óptimos. Ensaio de germinação e crescimento constituem os métodos

mais comuns para avaliar a fitotoxicidade e têm por objectivo detectar o efeito da presença de substâncias com efeito fitotóxico em composto que podem estar presentes quando o processo de compostagem não decorre correctamente (anaerobiose, falta de homogeneização, tempo de compostagem insuficiente).

Este trabalho teve como objectivo avaliar a evolução da compostagem de Resíduos Verdes da Estação de Compostagem do Barlavento pertencente à ALGAR S.A., através da determinação dos parâmetros físicos, físico-químicos e químicos em amostras da biomassa em compostagem e dos compostos finais. Outro objectivo deste trabalho foi a avaliação da fitotoxicidade dos compostos pela determinação do Índice de Germinação (IG) e do Índice de Crescimento (IC). Nos ensaios de germinação e crescimento foram utilizadas as seguintes espécies vegetais: Agrião (*Lepidium sativum* L.), Alface (*Lactuca sativa* L.) e Tomate (*Lycopersicum esculentum* L.).

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. PERSPECTIVA HISTÓRICA

Desde sempre ocorreu na Natureza a degradação biológica da matéria orgânica, envolvendo vegetação morta (folhas caídas das árvores, plantas secas, restos de árvores, etc.), assim como dejectos de animais e animais mortos, podendo-se designar todo este processo natural e espontâneo “compostagem natural”.

Há muitos séculos atrás, também o Homem aproveitava os vários resíduos que produzia na sua actividade quotidiana, como por exemplo, dejectos dos animais que criava e os resíduos vegetais das suas produções, acumulando-os em pilhas ou depositando em fossas, onde sofriam um processo de “compostagem”, ainda que, de forma primitiva e tecnicamente incorrecta (Gotaas, 1959).

Uma pesquisa efectuada por Hughes (1980) refere que uma patente foi registada em 1843 na América, por George Bommer, designada de “*Bommer Method of Making Manure*”. O processo consistia na colocação de resíduos da actividade agrícola numa grelha para decomposição, recirculando as escorrências e lixiviados para cima da pilha como forma de acelerar o processo. Apenas após 15 dias considerava-se que o produto resultante já apresentava características adequadas para a sua utilização como correctivo orgânico dos solos. Apesar de simplista, pode considerar-se que Bommer terá sido o pioneiro dos processos de compostagem científica.

Entre 1926 e 1940, Waksman complementou as experiências em larga escala com estudos à escala laboratorial utilizando na compostagem resíduos vegetais e estrume de estábulos. A investigação permitiu estabelecer importantes descobertas em relação a parâmetros da compostagem como sejam a influência da temperatura no estágio de decomposição, o papel de determinados grupos de microrganismos, o efeito na degradação da matéria orgânica de diversas culturas de microrganismos por oposição a culturas únicas e outros.

Outros estudos científicos na compostagem, realizados por Scott (1953) citados por Pereira Neto, procuraram caracterizar a influência no processo de compostagem da integração de diferentes tipos de lixos e resíduos, as perdas químicas do processo, a destruição de microrganismos patogénicos, o controle de moscas, as aplicações alternativas do processo e o efeito da aplicação de composto nos solos.

Harold Gotaas (1956) para além de ter feito um levantamento exaustivo da evolução da compostagem ao longo dos tempos, também descreve as experiências realizadas sob sua orientação entre 1950 e 1952 na compostagem de resíduos sólidos urbanos com a



adição de lamas de águas residuais, caracterizando a importância de determinados parâmetros no processo e eficiência da compostagem como sejam a temperatura, conteúdo da mistura, relação C/N, arejamento da massa de compostagem, tamanho das partículas, tipo de microrganismos presentes, etc.

Como se pode verificar, diversos investigadores centraram os seus estudos para a formação de sistemas de compostagem fechados, para possibilitar um controlo mais eficaz de tudo o que envolve estes processos, de modo a se atingir um menor tempo de compostagem e consequentemente menores custos de operação, obtendo um produto final satisfatório. Nos dias de hoje, a crescente preocupação com as questões ambientais e ecológicas e o incremento da legislação nesse sentido, torna a compostagem atractiva na solução para tratamento e valorização de um grande número de resíduos.

## **2.2. A COMPOSTAGEM. CONCEITOS**

O conceito de compostagem teve inúmeras modificações até à obtenção de uma definição que melhor a caracterizava, que se ia reformulando possivelmente à medida que os vários autores aprofundavam os seus estudos relativamente ao processo de compostagem.

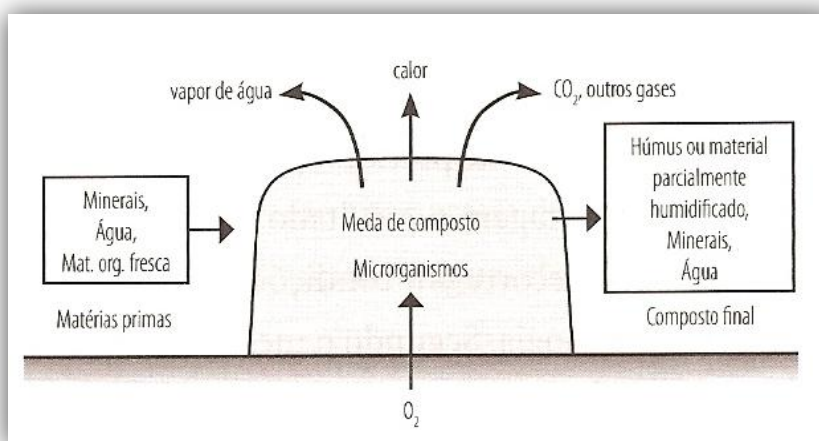
Merkel (1981) e Golueke (1981) consideram a compostagem um processo biológico de decomposição, sob condições controladas, ocorrendo a estabilização de substratos biodegradáveis pela conversão da matéria orgânica num produto estável semelhante ao húmus, o qual pode ser utilizado como fertilizante e correctivo dos solos.

Zucconi e De Bertoldi (1987) definem compostagem como sendo um processo bioxidante controlado de substratos orgânicos, no qual ocorre uma fase termófila e a libertação temporária de fitotoxinas, e do qual resultam dióxido de carbono, vapor de água, elementos minerais e matéria orgânica estabilizada ("composto").

Vallini (1995a) define o processo, no âmbito da biotecnologia ambiental, como sendo um processo bioxidante (que ocorre apenas em presença de oxigénio molecular), exotérmico, promovido por microrganismos (bactérias, actinomicetas, fungos) naturalmente associados aos substratos a compostar, no qual a biomassa heterogénea putrescível sofre em tempo relativamente breve (algumas semanas) profundas transformações físico-químicas ("maturação"), com perda da putrescibilidade (estabilização), ocorrendo paralelamente a mineralização e a humificação parciais da matéria orgânica.

Cunha Queda (1999) define compostagem como um processo aeróbio controlado de bioxidação de substratos heterogéneos biodegradáveis, resultante da acção dos microrganismos (bactérias, actinomicetas e fungos) naturalmente associados aos

substratos, durante o qual ocorre uma fase termófila, a libertação temporária de substâncias com efeito fitotóxico e as biomassas sofrem profundas transformações (mineralização e humificação parciais), sendo o principal produto final, designado composto, o qual deve ser homogêneo, resultante da bioxidação de substratos heterogêneos biodegradáveis, suficientemente estável para ser armazenado, higienizado e cuja aplicação ao solo não tenha efeitos adversos para o ambiente. Na Figura 2.1 encontra-se esquematizado, de uma forma geral e simplificada, o processo de compostagem.



**Figura 2.1.** Esquema geral do processo de compostagem (Batista e Batista, 2007).

De acordo com Vallini (1995a), o principal objectivo do processo de compostagem é a obtenção de um produto estável, que não seja susceptível de repentina evolução biológica, maturado, e que seja compatível (não fitotóxico) com o emprego na agricultura como correctivo orgânico dos solos; deve permitir também a eliminação de maus odores, a redução de volume e de massa, e a desactivação de microrganismos patogénicos (higienização) da matriz inicial. O mesmo autor refere ainda que o processo de compostagem pode ser considerado segundo duas perspectivas: como um processo orientado para a produção de compostos com interesse agrícola, e como um processo orientado para o tratamento de resíduos.

Segundo Cunha Queda (1999), as principais vantagens do processo de compostagem como tecnologia do tratamento de biomassas são:

- ❖ Redução do volume, da massa e do teor de humidade dos resíduos tratados;
- ❖ Estabilização química e biológica dos materiais putrescíveis;
- ❖ Obtenção de produtos – compostos – com interesse agrícola.

Segundo Haug (1980) as vantagens da aplicação de compostos aos solos são:

- ❖ Estes produtos constituírem uma fonte de matéria orgânica para manutenção ou incremento do húmus do solo, necessário para uma melhor estrutura do mesmo e aumento da capacidade de retenção de água;
- ❖ Aumentar a produção das culturas em sistemas intensivos ou em explorações agrícolas familiares;
- ❖ Permitir a reutilização de nutrientes (como por exemplo o azoto, o fósforo, o potássio, microelementos, etc.)

Todas estas vantagens são possíveis quando os processos escolhidos são os adequados, em tecnologia, projecto e operação. Como limitações ou desvantagens são citadas:

- ❖ Necessidade de maior área de terreno disponível do que no caso de outros processos de tratamento;
- ❖ Necessidade de realizar uma prévia triagem do material para que não estejam presentes produtos de decomposição lenta e que contenham metais pesados;
- ❖ Monitorização cuidada ao longo do processo para que não ocorram a formação de maus cheiros nem perda excessiva de humidade do material;
- ❖ Exigência de mais trabalho e consequentemente de mais mão-de-obra, o que pode traduzir-se em último caso até numa vantagem parcial já que a mão-de-obra pode ser pouco especializada sendo assim um impacto social positivo.

### **2.3. RESÍDUOS ORGÂNICOS COMPOSTÁVEIS**

Muito relevante para o processo de compostagem, é a composição bioquímica dos vários materiais utilizados na mistura inicial, uma vez que determina a sua susceptibilidade à decomposição microbiana. Materiais contendo hidratos de carbono, lípidos e proteínas, constituem uma fonte ideal de carbono e energia para os microrganismos, enquanto materiais que possuam uma fracção elevada de celulose e lenhina e pouca disponibilidade em compostos azotados serão degradados muito lentamente (Batista e Batista, 2007).

Entre os materiais ricos em carbono podemos considerar os materiais lenhosos como a casca de árvores, as aparas de madeira e o serrim, as podas dos jardins, folhas e agulhas das árvores, palhas e fenos, e papel. Entre os materiais azotados incluem-se as folhas verdes, estrumes animais, urinas, solo, restos de vegetais hortícolas, erva, etc. (Brito, 2005).

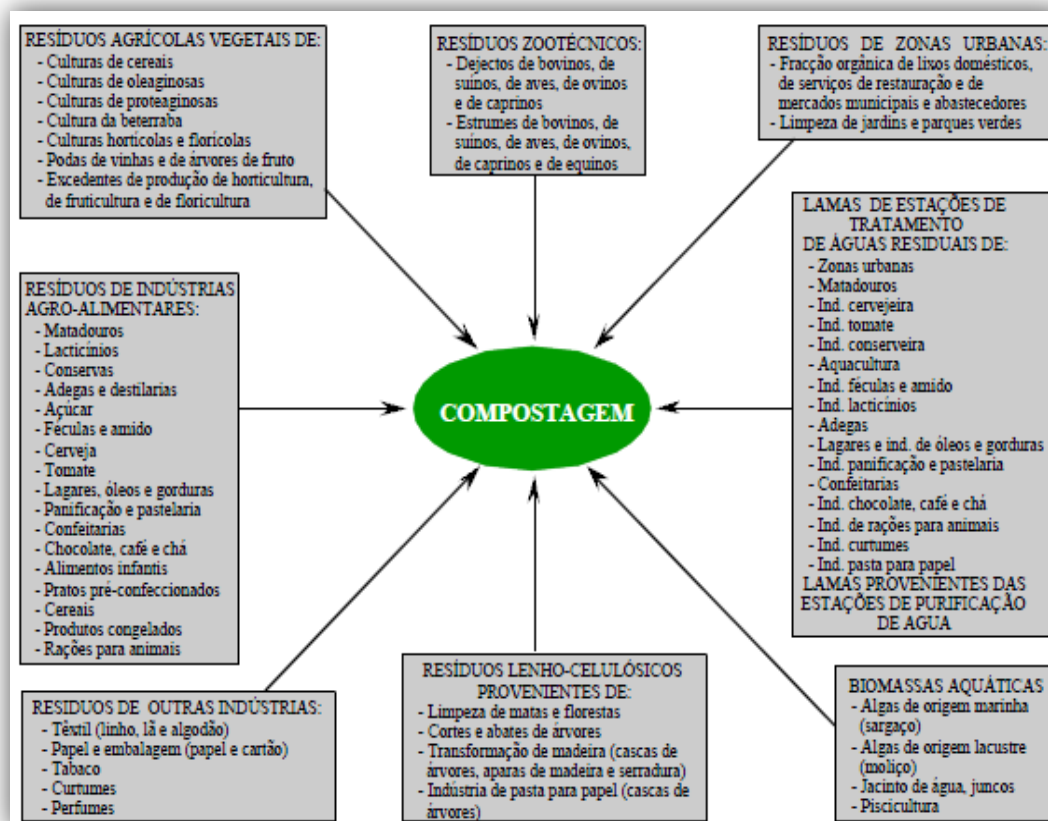
Os resíduos compostáveis podem ser classificados de acordo com vários critérios. Mustin (1987) desenvolveu uma classificação com base na sua origem, natureza química e física (Quadro 2.1). O mesmo autor observa, aliás, que somente resíduos orgânicos de origem biológica são compostáveis, isto é, passíveis de sofrer um processo de compostagem. Material orgânico de origem química não o poderá ser, como por exemplo os plásticos.

**Quadro 2.1.** Classificação dos resíduos orgânicos compostáveis (Mustin, 1987).

<b>Classificação de acordo com a natureza química</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>❖ <b><u>Resíduos orgânicos:</u></b> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Ricos em carbono;</li> <li>▪ Ricos em azoto;</li> </ul> </li> <li>❖ <b><u>Resíduos minerais</u></b> (adjuvantes da compostagem):           <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Resíduos básicos (calcários, cinzas,...);</li> <li>▪ Sais residuais (carbonato de cálcio, sulfatos, fosfatos,...).</li> </ul> </li> </ul>
<b>Classificação de acordo com o estado físico</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>❖ <b><u>Resíduos sólidos</u></b> (RSU, madeira, palha, lamas desidratadas,...);</li> <li>❖ <b><u>Resíduos semi-sólidos</u></b> (lamas de tratamento de efluentes,...);</li> <li>❖ <b><u>Resíduos líquidos</u></b> (efluentes agro-alimentares, lamas frescas líquidas,...).</li> </ul>
<b>Classificação de acordo com a sua origem</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>❖ <b><u>Resíduos provenientes da actividade doméstica:</u></b> RSU;</li> <li>❖ <b><u>Resíduos provenientes do sector da distribuição e serviços:</u></b> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Resíduos orgânicos provenientes do comércio alimentar;</li> </ul> </li> <li>❖ <b><u>Resíduos provenientes do sector primário:</u></b> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Resíduos da actividade agrícola (palhas, estrumes, resíduos de colheita, do armazenamento, etc.);</li> <li>▪ Resíduos de indústrias extractivas (fosfatos, calcário, dolomites, por exemplo);</li> </ul> </li> <li>❖ <b><u>Resíduos provenientes do tratamento de efluentes líquidos e gasosos:</u></b> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <b>Lamas de tratamento de águas residuais (de indústrias agro-alimentares, adegas, lagares, etc.).</b></li> </ul> </li> </ul>

De acordo com Cunha Queda (1999), a diversidade, quantidade, qualidade e complexidade de substratos potencialmente destinados à compostagem são muito grandes, pois os resíduos que são utilizados no processo de compostagem são

normalmente resíduos orgânicos biodegradáveis de origem agro-pecuária, agro-industrial e urbana. A Figura 2.2 mostra vários tipos de resíduos potencialmente utilizáveis na compostagem.



**Figura 2.2.** Resíduos orgânicos potencialmente utilizáveis na compostagem (Cunha Queda, 1999).

## 2.4. ETAPAS DA COMPOSTAGEM

Segundo Cunha Queda (1999), num sistema de compostagem podem ser consideradas três etapas distintas: condicionamento dos materiais, o processo de compostagem e afinamento do composto.

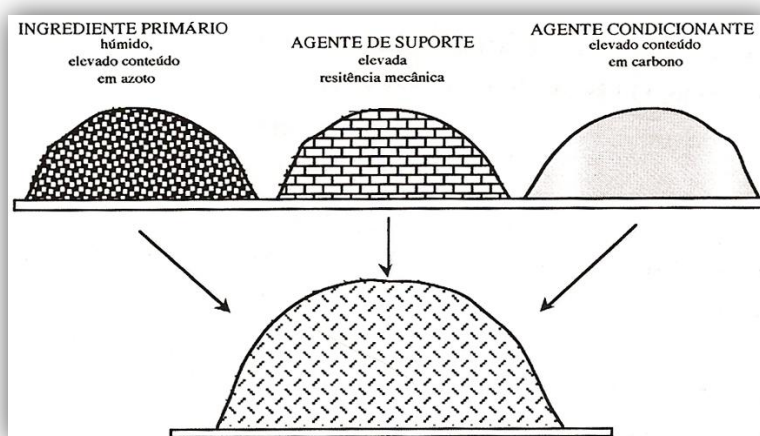
### ❖ Condicionamento dos materiais

Trata-se de um pré-processamento, no qual a fracção orgânica é separada de materiais contaminantes. Nesta fase também pode ser realizada a fragmentação dos materiais com vista à obtenção de uma granulometria mais adequada, quer ao ataque microbiano quer à manutenção das condições ideais para o arejamento.

Neste condicionamento pode também ser realizada a mistura de agentes de suporte que têm por função principal assegurar a boa estrutura da mistura a compostar, estes materiais, como por exemplo estilhas de madeira, cascas de árvore ou outros resíduos

florestais e de jardins apresentam uma elevada resistência mecânica, que depois de triturados têm como finalidade aumentar a porosidade da mistura.

Outra correcção que é feita nesta fase é a mistura de agentes condicionantes que têm por função fornecer o carbono ou o azoto, ou ainda serem correctores do teor de humidade. Normalmente a sua função não é única, e um só material pode ter funções de corrector do teor de humidade, da relação C/N e, ainda, da textura, de forma a garantir uma boa estrutura da mistura, garantindo os espaços intersticiais com dimensões convenientes entre as partículas do substrato de forma a assegurar um bom arejamento da biomassa. A Figura 2.3 refere-se ao condicionamento da biomassa com um agente de suporte e um agente condicionante.



**Figura 2.3.** Condicionamento de uma biomassa com um agente de suporte e um agente condicionante (Vallini, 1995b).

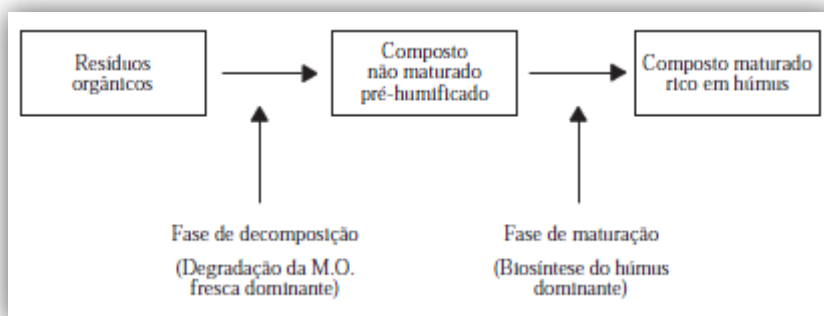
A correcção do teor de humidade, quando este é insuficiente para o desenvolvimento dos microrganismos, pode ser feita pela adição de água, ou pelo contrário quando o teor é muito elevado podem ser adicionados materiais com teor de humidade mais baixo, os quais promovem em conjunto a redução desse teor e podem igualmente fornecer nutrientes e/ou serem agentes condicionantes ou de suporte.

❖ **Processo de compostagem**, no qual podemos considerar duas fases principais (Merkel 1981; Vallini, 1995b):

- A **fase activa da compostagem**, que é caracterizada pela rápida e intensa biotransformação aeróbia e por temperaturas elevadas, já que as reacções de degradação são muito intensas, ocorrendo a libertação de calor, CO<sub>2</sub> e vapor de água;
- A **fase de acabamento (*curing*)**, que se segue à fase activa e é caracterizada como sendo uma fase de lenta e progressiva diminuição da temperatura. Durante esta fase a biomassa em compostagem perde a

fitotoxicidade residual, a população microbiana atinge um equilíbrio dinâmico e ocorre a síntese de substâncias húmicas.

Na Figura 2.4 encontra-se esquematizado a evolução de um processo de compostagem de acordo com Mustin (1987).



**Figura 2.4.** Esquema simplificado da evolução de um processo de compostagem (Mustin, 1987).

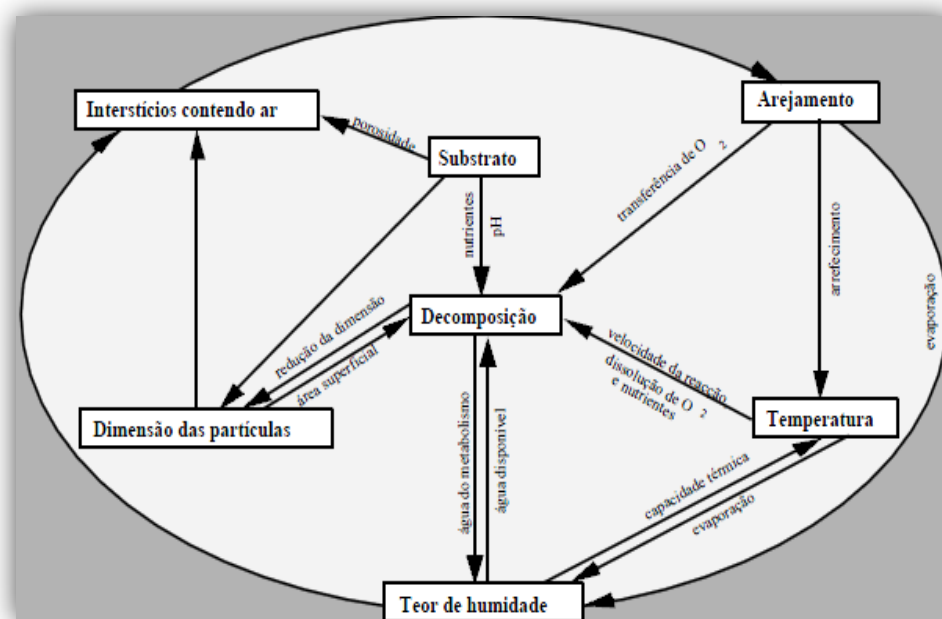
- ❖ **Afinamento do composto:** é um pós-processamento, no qual se realiza um tratamento mecânico, que tem por finalidade melhorar as características granulométricas e remover contaminantes inertes que não foram eliminados na etapa de condicionamento, no caso dos compostos provenientes de resíduos sólidos urbanos.

## 2.5. FACTORES QUE INTERFEREM NO PROCESSO DE COMPOSTAGEM

O processo da compostagem é um processo onde microrganismos diversificados são responsáveis pela degradação da matéria orgânica. Assim sendo, os factores que afectam o processo são os que determinam a existência duma população diversificada de microrganismos necessários para completar a degradação, como sejam: o oxigénio, a temperatura que afecta a velocidade das reacções bioquímicas, e a água (expressa em termos de humidade), sem a qual não se processam as actividades metabólicas (Russo, 2004).

Segundo Cunha Queda (1999), os principais factores que influenciam o processo de compostagem são os que afectam, directa ou indirectamente o metabolismo dos microrganismos que são responsáveis pela decomposição dos resíduos e sua transformação num produto estável e rico em substâncias húmicas – o composto. O controlo e a optimização dos parâmetros operacionais tem, assim, como objectivo principal proporcionar as condições óptimas para o desenvolvimento dos microrganismos, e deverão ser consideradas desde logo na etapa de condicionamento dos materiais. Na

Figura 2.5 é possível observar um diagrama com os principais factores que afectam a decomposição dos substratos durante a compostagem.



**Figura 2.5.** Diagrama dos factores mais importantes que afectam a decomposição dos substratos durante a compostagem (Cunha Queda, 1999)

De acordo com Russo (2004), além destes factores ambientais, também é preciso nutrientes balanceados, expressos pela relação C/N, em quantidades adequadas para que os microrganismos possam exercer a sua actividade. Outro factor que afecta o processo é de ordem operacional, o tamanho das partículas, ou seja, a granulometria influencia o arejamento e a estabilidade geométrica das pilhas ou leiras.

### 2.5.1. NUTRIENTES E RELAÇÃO C/N

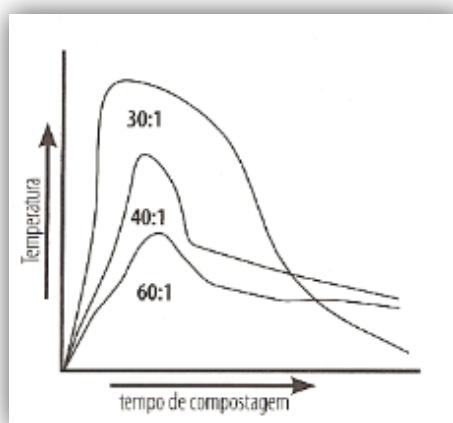
Decorre da própria definição de compostagem, como processo biológico, que os elementos C e N são fundamentais, pois constituem elementos presentes nas células microbianas presentes no processo, em que C representa em média 50% e N de 2 a 8%. A relação C/N depende dos microrganismos e do meio de crescimento, onde 2/3 do carbono se perde como CO<sub>2</sub> e 1/3 se combina com o azoto nas reacções celulares (Russo, 2004)

Vallini (1995b) refere que em geral os microrganismos utilizam para as suas reacções energéticas e de crescimento, o carbono, numa quantidade vinte vezes superior à do azoto. Segundo o mesmo autor, para as biomassas a compostar, o intervalo óptimo para a relação C/N deve estar compreendido entre 25:1 e 30:1 e o intervalo de compatibilidade (susceptível de ser utilizado) entre 20:1 e 40:1. Com valores inferiores a 20:1, o carbono disponível é completamente utilizado sem que haja a estabilização



completa do azoto. O excesso de azoto pode ser perdido para a atmosfera na forma de amoníaco, especialmente para valores de pH e temperatura elevados, o que causa odores indesejáveis. Se os substratos tiverem C/N superiores a 40:1, requerem tempo de compostagem longo, já que os microrganismos terão que oxidar o excesso de carbono até que a relação C/N seja mais propícia ao seu metabolismo (De Bertoldi *et al.*, 1985; Vallini, 1995b).

A Figura 2.6 indica de que forma a relação C/N de uma biomassa afecta a temperatura e consequentemente o tempo de compostagem.



**Figura 2.6.** Efeito da variação da relação C/N no tempo de compostagem (Batista e Batista, 2007).

Segundo Russo (2004), apesar dos valores sugeridos pelos pesquisadores para a óptima relação C/N para a compostagem, constata-se que não poderá ser um “ratio” absoluto, mas que varia com as características do material a compostar (Quadro 2.2).

**Quadro 2.2.** Relações de C/N óptimas para a compostagem (Russo,

Relação C/N	Autor	Ano
30-35/1	Gotaas, H.B.	1959
30/1	Haug, R.T.	1980
<20/1	Cardenas et al	1980
20-30/1	Golueke, C.G	1981
5 e 20/1	Chanyasak, et al	1981
25/1	Bertoldi et al	1983
30-40/1	Pereira Neto, J.T.	1989
25/1 a 40/1	Richard, T.L.	1992

Em certas circunstâncias a razão C/N pode ser elevada, especialmente se o material a ser compostado for muito rico em C, caso de resíduos de parques de madeiras, em que o

carbono não está facilmente disponível para os microrganismos. Nestes casos o valor de C/N elevado não corresponde ao C/N biodisponível, este na realidade é mais baixo. Pode elevar-se o ataque dos microrganismos às celulosas e lenhinas triturando o material e misturando-o com material proveniente de instalações pecuárias, ricos em azoto. A adição de um composto de elevada C/N ao solo, conduz à competição pelo azoto disponível, entre microrganismos e plantas, enquanto uma relação baixa pode favorecer o desenvolvimento das plantas (Russo, 2004).

### **2.5.2. GRANULOMETRIA DO MATERIAL**

Cunha Queda (1999) refere que a porosidade, a estrutura e a textura da matriz inicial estão relacionadas com as características físicas dos materiais que a constituem como sejam formato, dimensão e resistência à compactação das partículas da biomassa e podem influenciar o processo de compostagem no que respeita ao arejamento. Outra característica importante é a densidade aparente da mistura que, em simultâneo com as outras características, nos pode indicar a possível compactação da biomassa (Cunha Queda, 1999).

Como foi referido, estas propriedades podem ser corrigidas por meio de operações de fragmentação da biomassa ou da mistura desta com materiais de suporte e/ou materiais condicionantes. Por vezes, o material condicionante é, por si só, suficiente para assegurar quer a correcção, por exemplo, do teor de carbono e da humidade, quer a porosidade da mistura a compostar (Cunha Queda, 1999).

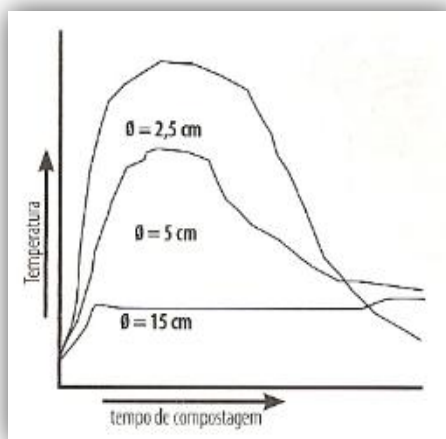
O processo de decomposição inicia-se junto à superfície das partículas, onde exista oxigénio difundido na película de água que as reveste, e onde o substrato seja acessível aos microrganismos e às suas enzimas extra-celulares. Como as partículas pequenas têm uma superfície específica maior estas serão decompostas mais rapidamente desde que exista arejamento adequado (Brito, 2005).

De acordo com Vallini (1995b), a extensão da área superficial e o grau de decomposição aumentam com a redução da dimensão das partículas; no entanto partículas demasiadamente pequenas podem comprometer a porosidade do material. Há, assim, que encontrar uma solução de compromisso, a qual normalmente é atingida com partículas entre 0,5 e 5 cm.

Porém, o mesmo autor refere que para materiais dispostos em pilhas estáticas, são preferíveis partículas de dimensões maiores, as quais garantem uma estrutura mais resistente à compactação, a qual se pode prevenir através da mistura com materiais de suporte, para que a mistura inicial tenha uma elevada porosidade. Garante-se assim a

renovação contínua do ar nos interstícios e evitando a formação de zonas anaeróbias, com a consequente emissão de odores indesejáveis.

Brito (2005) indica que as partículas devem ter entre 1,3 cm e 7,6 cm. Abaixo deste tamanho seria necessário utilizar sistemas de ar forçado enquanto os valores superiores podem ser bons para pilhas mais estáticas e sem arejamento forçado. O ideal é que os materiais utilizados na compostagem não tenham dimensões superiores a 3 cm de diâmetro. Quanto menor for o tamanho das partículas, maior é a sua superfície específica, e portanto, mais fácil é o ataque microbiano ou a disponibilidade biológica das partículas mas, em contrapartida, aumentam os riscos de compactação e de falta de oxigénio. A Figura 2.7 indica de que forma é que a dimensão das partículas interfere com a actividade dos microrganismos e com o tempo de compostagem.



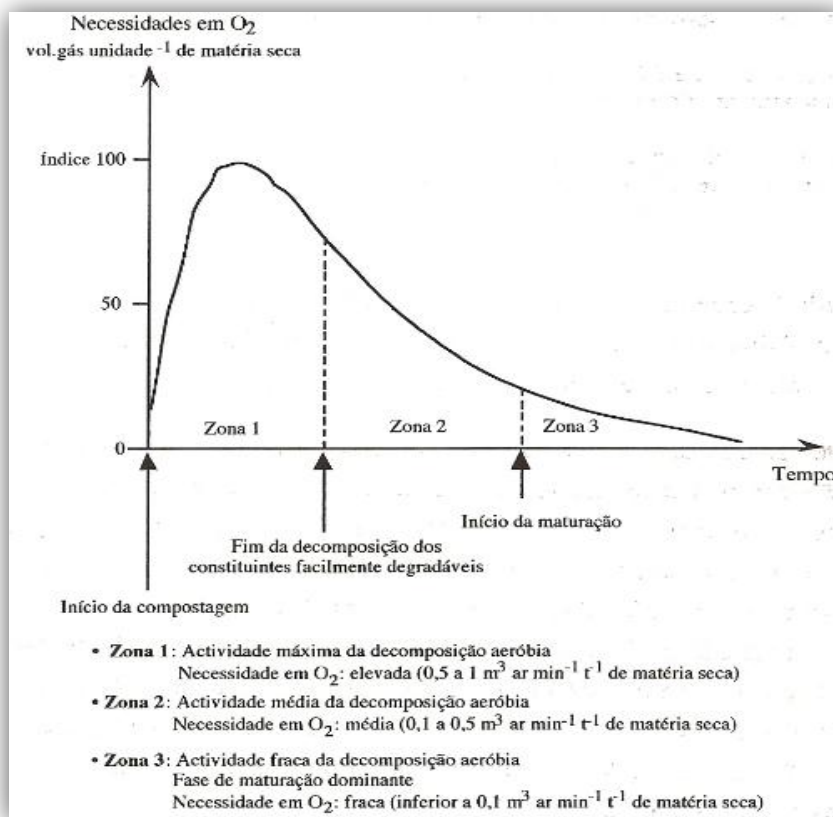
**Figura 2.7.** Relação entre a dimensão das partículas e a actividade dos microrganismos (Batista e Batista, 2007).

### 2.5.3. AREJAMENTO

As principais funções dum correcto arejamento do material em compostagem são as seguintes: garantir as necessidades de oxigénio aos microrganismos aeróbios, remover o excesso de calor (principalmente por evaporação da água), remover o vapor de água para permitir a secagem do material e a remoção dos gases resultantes da decomposição ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{NH}_3$ , etc.) do interior da massa de compostagem (Fernandes, 1999).

Todos os organismos aeróbios consomem oxigénio para oxidar os substratos orgânicos necessários ao seu metabolismo. A quantidade de oxigénio presente no ar dos espaços intersticiais existentes na biomassa é, assim, fundamental para o processo de compostagem. A existência destes interstícios depende da granulometria e da forma das partículas da biomassa, e também da quantidade de água presente (Cunha Queda, 1999).

De acordo com Mustin (1987), o *consumo de oxigénio* verificado numa biomassa em compostagem é, portanto, um parâmetro directamente relacionado com a actividade dos microrganismos aeróbios. Na figura 2.8 é apresentada uma curva teórica das necessidades de oxigénio ao longo da compostagem.



**Figura 2.8.** Curva teórica das necessidades em oxigénio durante a compostagem (Mustin, 1987).

Nos primeiros dias do processo, os substratos mais facilmente degradáveis presentes na biomassa são rapidamente metabolizados; assim, a necessidade de oxigénio, bem como a produção de calor, são maiores na fase activa da compostagem, diminuindo na fase seguinte. Apesar de o processo poder decorrer com uma concentração mínima de 5% de O<sub>2</sub> na atmosfera circundante das partículas da biomassa, para que tenhamos as condições óptimas para o processo esta concentração não deve ser inferior a 10% (Vallini, 1995b).

Sem um arejamento da biomassa as condições tornam-se anaeróbias, predominando os microrganismos anaeróbios, originando uma acumulação de compostos como ácidos orgânicos voláteis, sulfuretos, etc., caracterizados por um odor agressivo e com elevada fitotoxicidade (Cunha Queda, 1999).

Se a actividade anaeróbia não for excessiva a pilha de compostagem funcionará como um filtro que impedirá a libertação dos gases com maus odores que posteriormente

serão degradados no seu interior. Se a actividade anaeróbia for intensa resultarão cheiros desagradáveis que não devem acontecer se o processo de compostagem for bem conduzido (Brito, 2005).

Dois importantes tipos de substâncias responsáveis pela libertação d odores indesejáveis são os ácidos orgânicos voláteis e o amoníaco (Miller, 1993 e Walker, 1993). A excessiva perda de amoníaco durante a compostagem pode também ter impacto no valor agronómico do composto final, já que o azoto é um nutriente essencial para a nutrição das plantas (Dick e McCoy, 1993).

Deve realçar-se que num sistema de compostagem, mesmo com uma boa operação, é muito difícil eliminar completamente cheiros desagradáveis. Com efeito, a heterogeneidade dos materiais que aparecem na corrente dos resíduos e as condições operativas podem potenciar o aparecimento de “bolsas” anaeróbias nas pilhas de compostagem por excesso de humidade, por exemplo, e em consequência o aparecimento de cheiros (Russo, 2004).

#### **2.5.4. TEOR DE HUMIDADE**

Durante a compostagem o teor em água pode variar por dois tipos de razões. A primeira relaciona-se com o facto de que os microrganismos aeróbios produzem água quando decompõem a matéria orgânica, o que contribui para aumentar a humidade do composto. A água produzida pelo metabolismo dos microrganismos é distinta da água que faz parte da composição dos materiais iniciais e é designada por água metabólica. A segunda razão tem a ver com as perdas, sob a forma de vapor de água, que se verificam através da acção conjugada do aumento de temperatura, da ventilação ou do reviramento do composto (Batista e Batista, 2007).

Durante o processo de compostagem verifica-se uma redução do volume da biomassa inicial de 25 a 50%, a qual se devem grande parte à evaporação de água, mas também é devida à transformação da matriz constituída por partículas grosseiras em partículas finas. A diminuição do teor de humidade é o principal factor responsável pela diminuição de massa dos materiais, que podem perder entre 40 a 80% da massa original, também contribuindo para esta redução a libertação de CO<sub>2</sub> devida à mineralização parcial da matéria orgânica (Vallini, 1995b).

Para serem compostados, alguns materiais necessitam de possuir um teor em água na ordem de 75 a 90% (serradura e palha, por exemplo), enquanto outros (erva fresca cortada por exemplo) necessitam de um teor de água de 50 a 60%. O valor óptimo da

percentagem de humidade inicial para a compostagem varia de acordo com a natureza dos materiais a compostar, devendo situar-se entre 45 e 70% (Batista e Batista, 2007).

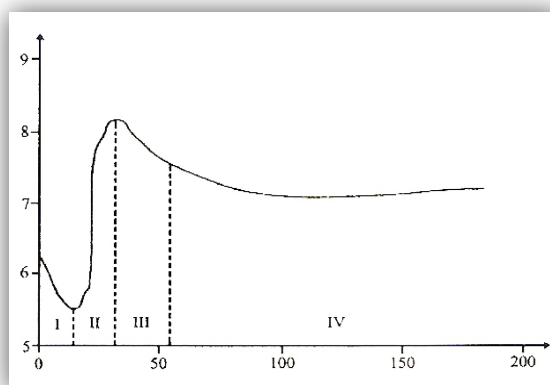
Segundo Vallini (1995b), as biomassas a compostar deverão ter teores de humidade compreendidos entre 45% e 65%. Para teores de humidades inferiores a 40%, a actividade microbiana decresce, e para valores superiores a 65% a água expelle o ar da maior parte dos interstícios existentes entre as partículas da biomassa, o que dificulta a difusão do oxigénio e pode originar condições de microaerofília ou mesmo de anaerobiose.

Durante todo o processo de compostagem a humidade deve pois ser mantida dentro dos limites óptimos para a ocorrência das reacções biológicas, já que a excessiva desidratação da biomassa em compostagem, com o consequente declínio da actividade microbiana, pode ser interpretada erradamente como tendo sido alcançada a estabilização dos materiais e, no entanto, apenas ter sido alcançada uma estabilização física, ou seja, a desidratação – e, uma vez re-humidificada a biomassa, ocorrerá a elevação da temperatura (Vallini, 1995b).

#### 2.5.5. pH

O processo de compostagem é relativamente pouco sensível ao pH dos substratos de partida, devido ao largo espectro de microrganismos associados às biomassas e que estão envolvidos no processo. Os valores óptimos situam-se no intervalo entre 6,5 e 8, no entanto, dada a natural capacidade tampão do processo este permite a utilização de biomassas em intervalos de pH mais amplos. De facto, a compostagem pode ser realizada com biomassas com valores de pH de 5,5 a 9 (Vallini, 1995b).

Ao longo do processo de compostagem, o pH varia devido às transformações que ocorrem nos substratos. Na figura 2.9 apresenta-se uma curva típica de evolução do pH durante a compostagem.



**Figura 2.9.** – Curva das principais variações de pH durante a compostagem (Mustin, 1987).

São consideradas quatro fases principais na evolução do pH (Mustin, 1987).

- ❖ Na **Fase I** o valor de pH diminui – é uma fase de acidificação, ocorrendo a produção intensa de CO<sub>2</sub> e de ácidos orgânicos; predominam os microrganismos mesófilos.
- ❖ Na **Fase II** o pH aumenta, devido à produção de azoto na forma amoniacal proveniente da hidrólise do azoto orgânico por intermédio de microrganismos heterotróficos aminizantes e amonificantes, com a consequente produção de amoníaco – é uma fase de alcalinização; predominam os microrganismos termófilos.
- ❖ Na **Fase III** é caracterizada pelo início da estabilização do pH – o amoníaco produzido na fase anterior diminui quer devido à sua volatilização quando as condições assim o favorecem (temperatura e pH elevados), quer por acção das bactérias nitrificantes que o oxidam da forma amoniacal à forma de nitrito e, posteriormente, à forma de nitrato. O azoto também é utilizado pelos microrganismos para a biossíntese das substâncias húmicas.
- ❖ Na **Fase IV** o valor de pH tende para a neutralidade. Esta estabilização do pH deve-se às reacções de maturação e ao poder tampão do húmus.

#### 2.5.6. TEMPERATURA

Durante a oxidação da matéria orgânica disponível (fonte de energia e de nutrientes), parte da energia é utilizada pelos microrganismos para o seu próprio metabolismo, sendo a restante libertada na forma de calor. A temperatura da biomassa em compostagem é, pois, um reflexo da actividade dos microrganismos presentes, sendo resultante da acumulação de calor gerado metabolicamente (Cunha Queda, 1999).

Brito (2005), refere que a produção de calor depende da velocidade a que a decomposição se processa (ou da velocidade a que os microrganismos crescem e actuam), e esta, depende do teor de humidade, arejamento e relação C/N da mistura dos materiais, da forma e do tamanho da pilha de compostagem (que afecta o arejamento e a dissipação do calor da pilha) e da temperatura exterior à pilha.

Quando uma biomassa é condicionada de forma a poder ocorrer a decomposição aeróbia, a temperatura começa a aumentar devido à acumulação de calor e, desde que esteja compreendida entre a temperatura ambiente e 40°C (fase mesófila inicial), os microrganismos mesófilos predominam. Da sua actividade é produzido calor. O que causa o aumento da temperatura da biomassa para valores entre 40 e 60 – 70°C (fase termófila) e, por auto-limitação, os microrganismos mesófilos dão lugar aos microrganismos termófilos que por sua vez, por acção da sua própria actividade; e,

quando esta atinge valores abaixo dos 40°C, voltam a predominar os microrganismos mesófilos (fase mesófila final) (Cunha Queda, 1999).

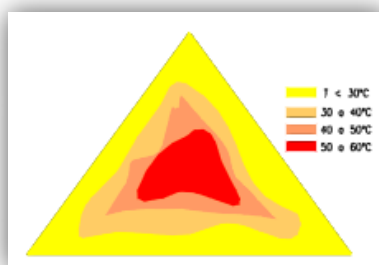
Assim, de acordo com Cunha Queda (1999), a evolução da temperatura no processo de compostagem é caracterizada pela existência de três fases:

- ❖ **Fase mesófila inicial**
- ❖ **Fase termófila**
- ❖ **Fase mesófila final (arrefecimento gradual)**

A fase mesófila inicial e a fase termófila correspondem à fase activa do processo e a fase mesófila à fase de acabamento (*curing*). A duração e a evolução de cada uma destas fases dependem das características físicas, físico-químicas e químicas da matriz inicial, do método de compostagem utilizado e do controlo dos parâmetros operacionais ao longo do processo (Cunha Queda, 1999).

Com efeito, segundo Mustin (1987), a diferente disponibilidade do carbono e do azoto presentes na biomassa em compostagem conduzem a curvas de evolução da temperatura diversas. Durante a compostagem de materiais constituídos por moléculas orgânicas facilmente degradáveis, tais como açúcares, ácidos orgânicos, proteínas, lípidos, etc., estas são completamente degradadas, sendo a fase mesófila inicial breve e atingidas temperaturas muito elevadas na fase termófila. Se os materiais são maioritariamente constituídos por moléculas mais complexas, como por exemplo lenhina, celulose, pectinas, quitina, etc., estão só são parcialmente hidrolisadas, podendo ocorrer uma fase mesófila inicial maior e a fase termófila ser também mais prolongada, atingindo-se uma temperatura máxima mais baixa.

Segundo Russo (2004), numa pilha em compostagem, as temperaturas desenvolvem-se do interior para o exterior de forma decrescente, quando aeróbias, com um perfil típico, como o representado na figura 2.10.



**Figura 2.10.** – Perfil típico de temperatura numa pilha aeróbia (Russo, 2004).

Altas temperaturas têm sido consideradas necessárias para uma boa compostagem. No entanto, há limites a controlar, porque uma temperatura excessiva (80°C) por longos

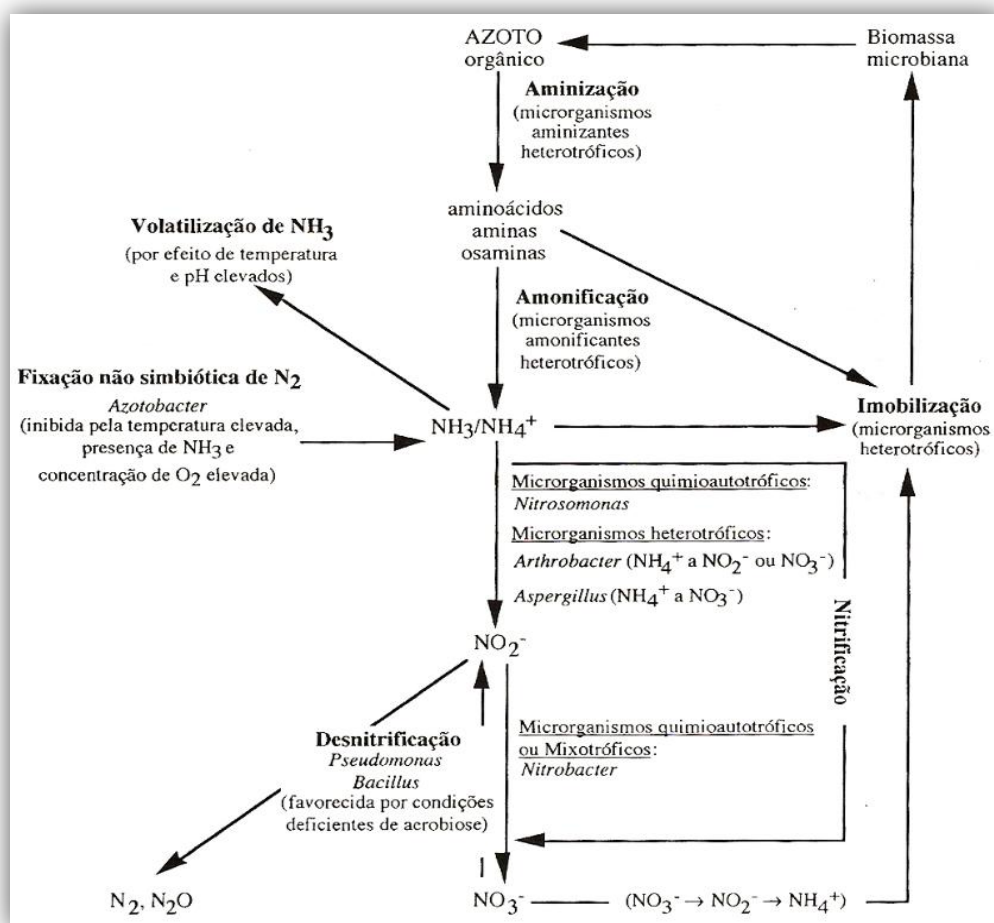


períodos é prejudicial ao processo devido à inibição do crescimento e mesmo à morte de microrganismos não termotolerantes, reduzindo deste modo a taxa de decomposição (Russo, 2004).

Cunha Queda (1999) refere que no caso da compostagem a temperatura é considerada como sendo um dos factores mensuráveis e controláveis durante o processo, daí ser o parâmetro mais utilizado para avaliar a inactivação/eliminação dos microrganismos patogénicos durante o processo de compostagem. Outro fenómeno que ocorre durante a compostagem é a destruição de sementes de ervas infestantes. Segundo Vallini (1995b) esta destruição só é conseguida com temperaturas superiores a 60°C.

## 2.6. DINÂMICA DO AZOTO

Durante a compostagem das biomassas, as formas azotadas naturalmente presentes sofrem sucessivas transformações. A dinâmica do azoto é assim muito importante para o processo e para a qualidade dos compostos (Cunha Queda, 1999). Na figura 2.11 encontra-se esquematizada uma síntese da dinâmica do azoto durante a compostagem.



**Figura 2.11.** – Dinâmica do azoto no processo de compostagem (Cunha Queda, 1999).

As moléculas que contêm azoto (proteínas, etc.) são degradadas na fase activa pela acção de microrganismos heterotróficos aminizantes, originando aminas e aminoácidos que em seguida, por acção de microrganismos heterotróficos amonificantes, são transformados em amoníaco, o qual sofre volatilização por efeito de aumento da temperatura e do pH, originando uma diminuição do azoto total (Cunha Queda, 1999).

Outra transformação que ocorre ao longo do processo de compostagem é a conversão do azoto amoniacal em azoto nítrico, assim ocorre a diminuição do azoto na forma amoniacal e o aumento do azoto nas formas  $\text{NO}_3^-$  e  $\text{NO}_2^-$ . Apesar de ocorrer a perda de azoto na forma amoniacal, na fase activa, cujas condições de temperatura e pH elevados favorecem a volatilização do amoníaco por acção das bactérias heterotróficas amonizantes, a quantidade formada é superior à que é volatilizada, o que pode ser explicado pela nitrificação (Neto *et al.*, 1987).

## **2.7. POPULAÇÕES MICROBIANAS**

A transformação da matéria orgânica biodegradável através da compostagem decorre em fases consecutivas, caracterizadas pela intervenção de diferentes grupos de microrganismos que se sucedem em função da alteração das condições físicas, físico-químicas, químicas e biológicas, que favorecem a predominância de um ou mais grupos em detrimento de outros e que também são, por sua vez, resultantes do metabolismo microbiano (Cunha Queda, 1999).

Diversos microrganismos têm grande importância nos processos metabólicos da compostagem, como já se fez referência, devido à sua acção na transformação de um produto residual orgânico num outro completamente diferente, pronto a ser utilizado (Russo, 2004).

A transição da população de microrganismos mesófilos para a população de microrganismos termófilos é uma consequência do metabolismo da população inicial (Cunha Queda, 1999).

Com temperaturas superiores a 40 °C começam a predominar os termófilos, com temperaturas acima de 55 °C muitos dos microrganismos patogénicos para os humanos ou para as plantas são destruídos. Acima dos 65 °C são destruídos a maioria dos microrganismos, incluindo aqueles que são responsáveis pela decomposição (Brito, 2005).

Outra situação é a disponibilidade de nutrientes: em primeiro lugar, serão utilizados os substratos mais fáceis de degradar e, sucessivamente, os substratos mais difíceis de serem degradados. Também a influência do pH é decisiva na evolução das populações

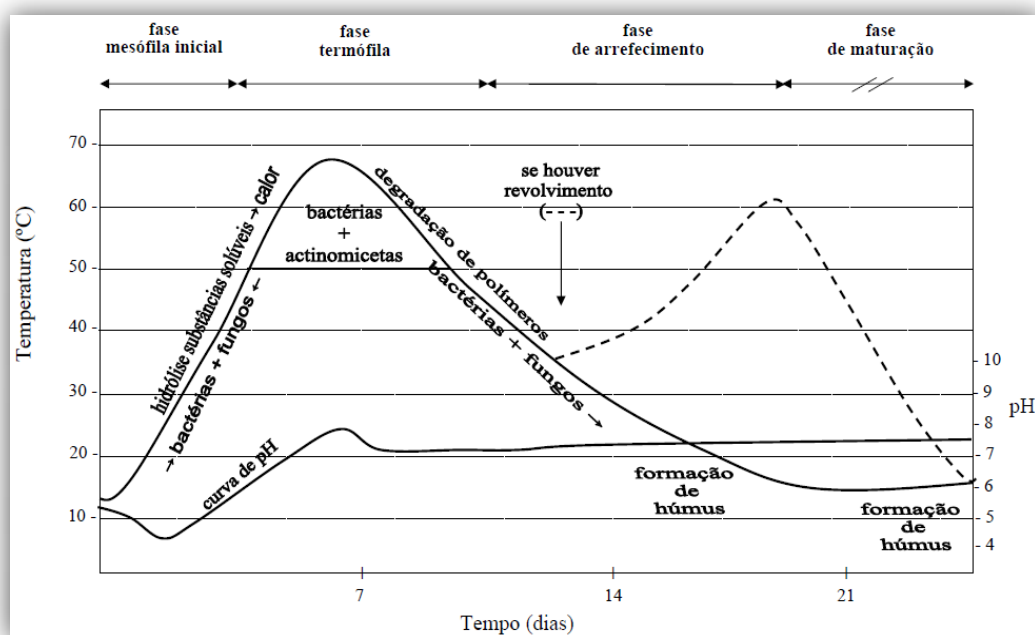
microbianas (Cunha Queda, 1999). O pH óptimo para a maioria dos microrganismos varia entre 5,5 e 8,5 (Brito, 2005).

## 2.8. DURAÇÃO DO PROCESSO DE COMPOSTAGEM

O tempo necessário para transformar em composto uma biomassa sujeita a uma bioestabilização aeróbia depende de muitos factores, como sejam as características da matriz orgânica de partida, a temperatura, a humidade, o tipo de arejamento e a dimensão da pilha (Cunha Queda, 1999).

Segundo Vallini (1995b), se tivermos um adequado teor de humidade (60-65%), uma relação C/N correcta ( $\approx 25$ ) e um eficaz arejamento da biomassa, podemos realizar o processo de compostagem em algumas semanas. As condições que podem tornar um processo de compostagem mais longo estão relacionadas com os factores que já referimos: baixo teor de humidade do substrato, relação C/N excessivamente elevada ( $> 40\%$ ), baixas temperaturas, insuficiente arejamento, dimensão das partículas demasiado grande e presença significativa de materiais resistentes ao ataque microbiano.

Na figura 2.12 é apresentada as curvas de evolução da temperatura e do pH durante o processo de compostagem, assim como a designação das diferentes fases que ocorrem no processo, respectivamente a fase mesófila inicial, fase termófila, fase de arrefecimento e fase de maturação. Também se encontram referidos na figura os principais microrganismos intervenientes em cada uma das fases e quais as transformações que ocorrem ao nível dos substratos.



**Figura 2.12.** – Evolução da temperatura e do pH durante a compostagem (López-Real, 1995).

Quanto à duração do processo de compostagem, apesar de não ser um parâmetro operacional, está directamente relacionada com os vários parâmetros operacionais, bem como as diferentes metodologias existentes para se proceder à compostagem de resíduos, que para além dos objectivos referidos – melhores condições para o processo, qualidade do produto final e higienização – também têm por finalidade a redução do tempo necessário, dentro dos limites aceitáveis que viabilizem os objectivos do processo (Cunha Queda, 1999).

## 2.9. MÉTODOS DE COMPOSTAGEM

A compostagem não pode ser espontânea, tem de ser um processo controlado de forma a garantir: baixos custos de operação, produtos final higienizado e de constante e elevada qualidade, pelo que têm sido desenvolvidos vários métodos de compostagem (Cunha Queda, 1999). O quadro 2.3 seguinte refere-se à classificação dos métodos de compostagem segundo De Bertoldi *et al.* (1985).

**Quadro 2.3.** Classificação dos métodos de compostagem  
(De Bertoldi *et al.*, 1985).

<b>Sistemas abertos</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>❖ Pilha revolvida;</li> <li>❖ Pilha estática: <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Aspiração de ar;</li> <li>▪ Insuflação de ar;</li> <li>▪ Ventilação alternada (aspiração e insuflação);</li> <li>▪ Insuflação de ar com controlo de temperatura.</li> </ul> </li> </ul>
<b>Sistemas fechados</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>❖ Reactores verticais: <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Contínuos;</li> <li>▪ Descontínuos.</li> </ul> </li> <li>❖ Reactores horizontais: <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Estáticos;</li> <li>▪ Com movimentação do material.</li> </ul> </li> </ul>

As pilhas podem assumir diferentes formas geométricas: triangular, trapezóide ou tabular. A altura, largura e forma das pilhas, dependem das características dos materiais utilizados, as condições climáticas prevalecentes e do tipo de equipamento utilizado no reviramento (Batista e Batista, 2007).

Batista e Batista (2007) referem que a compostagem em pilhas pode ser classificada de acordo com o tipo de ventilação, natural ou artificial. No caso de compostagem com ventilação natural, pode verificar-se o amontoamento simples de materiais, ou o crescimento das pilhas pode ser vertical ou horizontal. Quando a ventilação é artificial, distinguem-se ainda, os processos de ventilação positiva e de ventilação negativa. A existência ou não de meios mecânicos para a realização do reviramento pode diferenciar processos.

De acordo com Brito (2005), estes sistemas são, frequentemente considerados em quatro categorias, designadamente, pilhas longas (*windrow*) com revolvimento, pilhas estáticas, pilhas estáticas com arejamento forçado, e recipientes ou reactores (*in-vessel*) abertos ou fechados.

No sistema de pilhas longas estas têm de ser frequentemente reviradas na fase da compostagem que requer mais oxigénio e em que se produz mais calor, enquanto as pilhas estáticas não são revolvidas ou só o são com baixa frequência. Nos outros sistemas é possível exercer um controlo do oxigénio mais contínuo, bem como, sobre as temperaturas, odores, organismos patogénicos, etc. As pilhas estáticas exigem menos capital mas ocupam muito espaço, pelo contrário nos sistemas *in-vessel* o processo pode ser melhor monitorizado e com menor necessidade de terreno, mas com custos de capital e de funcionamento elevados. Nestes últimos sistemas o composto necessita, normalmente, de um período de maturação e estabilização posterior (Brito, 2005).

## **2.10. AVALIAÇÃO DA ESTABILIZAÇÃO/MATURAÇÃO DOS COMPOSTOS**

O grau de estabilização das biomassas e da maturação dos produtos obtidos através do processo de compostagem — os compostos —, é desde há muito objecto de numerosos estudos, a partir dos quais os vários autores têm proposto diferentes parâmetros para a sua avaliação (Cunha Queda, 1999).

De acordo com Cunha Queda (1999), a estabilidade e maturação dos compostos são na realidade conceitos diferentes, estando efectivamente relacionados com as fases do processo. No entanto, ambos os conceitos integram o conceito de qualidade dos compostos, e esta é um reflexo quer dos resíduos utilizados quer do processo de compostagem, bem como da forma como o mesmo decorreu.

Haug (1980), refere que o termo estabilização tem sido utilizado com o significado de oxidação dos materiais orgânicos e a sua conversão em forma menos susceptíveis de serem degradadas, ou seja, mais estáveis, e que, embora sejam ainda passíveis de degradação, apenas o são numa taxa muito menor quando comparados com os materiais iniciais.

Por sua vez, Buchanan *et al* (2002), definem estabilidade como uma fase específica da decomposição ou estado da matéria orgânica durante a compostagem, estando assim relacionada com o tipo de compostos orgânicos existentes e a respectiva actividade microbiológica daí resultante. Os mesmos autores referem ainda que a estabilidade de um determinado composto é importante na determinação do potencial impacto que ele possa ter quando aplicado ao solo, principalmente na disponibilidade de nutrientes e oxigénio (devido à actividade microbiana do composto).

He *et al.* (1992) referem que a maturação de um composto, a qual, pode ser definida como o grau de estabilidade das suas propriedades físicas, químicas e biológicas, é um factor importante que afecta o sucesso da utilização agrícola dos compostos bem como os impactes ambientais provocados pela utilização dos mesmos. Buchanan *et al.* (2002) corroboraram a definição anterior considerando a maturação como o grau de acabamento do processo de compostagem, e como tal, os compostos não maturados podem exibir um potencial negativo no desenvolvimento das plantas.

Segundo Adani (2002), estabilidade e maturidade são apenas propriedades biológicas dos compostos que relacionam a actividade microbiológica com a presença ou ausência de fitotoxicidade, elas não descrevem a quantidade de matéria orgânica que é decomposta e/ou humificada. Portanto, estes dois parâmetros apenas fornecem informação sobre aspectos relacionados com a higiene dos compostos (estabilidade) ou com o crescimento das plantas (maturação), mas um parâmetro que pode assegurar a evolução da matéria orgânica torna-se importante porque nos diz algo sobre a qualidade da matéria orgânica, já que um processo longo de compostagem favorece as características do composto enquanto correctivo orgânico (Chen & Aviad, 1990).

Cunha Queda *et al.* (2002) menciona que a estabilidade de um composto pode ser designada como resultado da elevada taxa de reacções microbiológicas que ocorrem durante a fase activa do processo, enquanto a maturação aparece, pelo contrário, como efeito da fase de curing.

Ao longo do tempo têm sido propostos vários parâmetros para a avaliação da estabilidade e da maturação dos compostos, verificando-se que, não existe um único parâmetro que, por si só, permita avaliar a qualidade dos compostos (Cunha Queda, 1999).

No quadro 2.4 estão indicados os vários métodos que são utilizados por alguns autores para a avaliação da estabilização/maturação de compostos, estando estes métodos divididos em físicos, químicos, ensaios biológicos, espectroscópicos e grau de humificação.

**Quadro 2.4.** Métodos utilizados para a avaliação da estabilização/maturação de compostos (Inbar *et al.*, 1990 e He *et al.*, 1992).

<b>Métodos químicos</b>	<b>Métodos físicos</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>❖ Relação C/N;</li> <li>❖ Iões solúveis em água (ex: <math>\text{NO}_3^-</math>, <math>\text{NH}_4^+</math>);</li> <li>❖ Matéria orgânica solúvel em água;</li> <li>❖ Capacidade de troca catiónica;</li> <li>❖ Composição da fibra bruta;</li> <li>❖ pH;</li> <li>❖ Substâncias degradáveis.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>❖ Temperatura;</li> <li>❖ Cor;</li> <li>❖ Odor;</li> <li>❖ Granulometria;</li> <li>❖ Teores de ar e água.</li> </ul>
<b>Ensaio microbiológico</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>❖ Microrganismos indicadores;</li> <li>❖ Taxa de respiração;</li> <li>❖ Actividade e biomassa dos microrganismos;</li> <li>❖ Supressão de fitopagénios.</li> </ul>	
<b>Ensaio biológico</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>❖ Germinação de agrião em extracto aquoso (teste de fitotoxicidade);</li> <li>❖ Crescimento de azevém em substratos com composto;</li> <li>❖ Desenvolvimento de plântulas em extractos aquosos e no composto.</li> </ul>	
<b>Espectroscopia</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>❖ Em fase sólida;</li> <li>❖ Infravermelhos.</li> </ul>	
<b>Grau de humificação</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>❖ Substâncias húmicas totais;</li> <li>❖ Teores e relações de ácidos húmicos, fúlvicos e de fracções não húmicas;</li> <li>❖ Teores de grupos funcionais.</li> </ul>	

**2.10.1. TESTE DE AUTO-AQUECIMENTO**

Este método, muito utilizado na Alemanha, consiste em avaliar a variação da temperatura de uma amostra de composto colocada num recipiente térmico (*Dewar flask*), em intervalos regulares e durante vários dias (na metodologia são propostas 72 horas, mas o aconselhado são 10 dias), sendo a temperatura máxima atingida que determina a classe de estabilidade. Segundo o documento de referência LAGA – Merkblatt M 10 (1995) os compostos são classificados em função da temperatura máxima alcançada neste teste (Quadro 2.5).

**Quadro 2.5.** Classes de estabilidade para compostos (LAGA – Merkblatt M 10, 1995).

Designação	Temperatura máxima	Classe de estabilidade
<b>Material inicial</b>	>60°C	I
<b>Composto fresco</b>	50 – 60°C	II
<b>Composto fresco</b>	40 – 50°C	III
<b>Composto maturado</b>	30 – 40°C	IV
<b>Composto maturado</b>	<30°C	V

Frost *et al.* (1992) e Iannotti *et al.* (1993) referem que o teor de humidade da amostra e a densidade afectam os resultados deste teste, devido ao elevado calor específico da água relativamente ao dos sólidos do composto. Segundo Frost *et al.* (1992), é recomendado como teor de humidade da amostra o valor 25%; no entanto, para este teor a actividade microbiológica é limitada.

### 2.10.2. FITOTOXICIDADE

Segundo Beckett e Davis (1977) e Davis *et al.* (1977), o termo fitotoxicidade está normalmente associado ao fenómeno de acumulação, nos tecidos das plantas, de substâncias potencialmente nocivas, em níveis que podem afectar o seu crescimento e desenvolvimentos óptimos.

Durante o processo de compostagem, a toxicidade muda em intensidade e duração. De um modo geral, tende a aumentar nas fases iniciais da compostagem correspondentes ao pico de multiplicação de microrganismos e à biodegradação mais intensa dos materiais mais facilmente decomponíveis, que libertam metabolitos tóxicos. Em fases posteriores, quando já ocorreu a metabolização de substâncias tóxicas, a fitotoxicidade decresce e desaparece completamente no final do processo de compostagem. Isto indica que o composto produzido é estável e maduro (Batista e Batista, 2007).

Zucconi *et al.* (1985) referem que o período de produção de toxinas é menor em processos com arejamento forçado, quando comparados com aqueles em que o arejamento é realizado apenas por revolvimento da biomassa. Referem ainda que, nos processos com arejamento forçado, a toxicidade das biomassas é eliminada antes do final da fase termófila e que, independentemente do modo de arejamento, a composição dos substratos também afecta a produção de substâncias fitotóxicas.

Ensaio de germinação e crescimento constituem os métodos mais comuns para avaliar a fitotoxicidade. Este método é baseado em dois ensaios *in vitro* e em vaso,



utilizando *Lepidium sativum* L. como planta indicadora. O método pretende detectar substâncias fitotóxicas em composto, quando o processo de compostagem não tiver decorrido correctamente (anaerobiose, falta de homogeneização, tempo de compostagem insuficiente). De entre as substâncias fitotóxicas, tanto as minerais como as orgânicas, constituem indicadores específicos do crescimento e indicadores importantes do processo de evolução: por outras palavras, a sua presença revela que o composto não é suficientemente estável (Batista e Batista, 2007).

Os ensaios de germinação têm como objectivo comprovar os possíveis efeitos fitotóxicos dos materiais, e consistem em determinar, comparando com uma testemunha (ensaio em branco), a percentagem de germinação na presença de uma amostra de composto.

Zucconi *et al.* (1981) propuseram a avaliação da fitotoxicidade através da determinação do índice de germinação com *Lepidium sativum* L., a partir de extractos aquosos esterilizados por filtração, os quais se obtêm por extracção da amostra de composto previamente humedecida a 60% à pressão de 250 atm, durante 15 minutos. Segundo Pera *et al* (1991) se a % do índice de germinação, para o *Lepidium sativum* L., face ao ensaio em branco for superior a 60% o composto é considerado não fitotóxico.

Os ensaios de crescimento são realizados também para avaliar os possíveis efeitos fitotóxicos dos materiais, e consistem em determinar, comparando com uma testemunha (ensaio em branco), a % do índice de crescimento na presença de uma amostra de composto.

A realização dos ensaios de crescimento são efectuados com uma mistura de cada composto que se pretende avaliar com um solo artificial, nas proporções de 1/3 (v/v) de composto e 2/3 (v/v) do solo artificial, o qual foi preparado com turfa, perlite e areia nas proporções de 1/3 (v/v) de turfa, 1/3 (v/v) de perlite e 1/3 (v/v) de areia (CAN/BNQ, 1996 modificado em 1997).

Os ensaios decorrem durante 14 dias contados após a germinação de pelo menos 50% das sementes nas caixas testemunhas e ao fim desse tempo avaliam-se os pesos secos dos materiais vegetais obtidos nos ensaios com e sem amostra, valores com os quais se calcula o índice de crescimento. Segundo CCME (1996) o índice de crescimento deve ser superior a 50% para ensaios com *Lepidium sativum* L. e *Raphanus sativus* L. na presença da amostra de composto.

### **2.11. QUALIDADE DOS COMPOSTOS**

O conceito de qualidade dos compostos tem de ser mais abrangente, pois, além dos parâmetros propostos para avaliar a sua estabilidade e maturação, também têm de ser considerados outros parâmetros como, por exemplo, a concentração em metais pesados, pH, presença de patogénicos, presença de materiais inertes, etc. (Cunha Queda, 1999).

De acordo com Cunha Queda (1999), se os materiais a compostar não tiverem qualidade, o produto final será afectado. De facto, se uma biomassa apresentar, por exemplo, metais pesados, o teor destes não diminuirá com este tratamento. Assim, para obter bons compostos devemos partir de biomassas putrescíveis com qualidade. A compostagem é mais do que um tratamento de resíduos, é uma forma de obtenção de produtos, cuja qualidade final nunca deverá ser esquecida. Caso apenas seja vista como um tratamento, corremos um risco de obter produtos que irão causar sérios problemas aquando da sua aplicação aos solos, problemas esses que nem sempre são imediatamente detectáveis.

Numa avaliação global da qualidade dos compostos, devem ser considerados os aspectos relacionados com os impactes ambientais, agronómico e os relacionados com a estabilidade e a maturação dos compostos. Porém, no que se refere às normas de qualidade para compostos não existe, a nível da União Europeia, uma norma específica. Em Portugal, e até esta altura, não existe qualquer tipo de regulamentação, excepto no que se refere aos teores máximos de metais pesados, para o que se utiliza a norma referente à aplicação de lamas aos solos (Cunha Queda, 1999).

Deste modo, e tendo em conta o 2<sup>nd</sup> Draft do Documento de Trabalho sobre o Tratamento Biológico de Resíduos Biodegradáveis, DG-ENV. A.2, Fevereiro 2001 e o Documento de Trabalho sobre Lamas e Resíduos Biológicos, DG-ENV. A.2/LM, Dezembro 2003, foi elaborada em Dezembro de 2008 uma proposta para as Especificações Técnicas sobre Qualidade e Utilizações do Composto onde se encontram definidos quatro classes de qualidade para o Composto, suportados pela fixação de limites diferenciados para alguns parâmetros, visando aplicações distintas na agricultura.

Com efeito, nesta proposta de Especificações Técnicas são estabelecidas classes de qualidade para o Composto em função de alguns parâmetros e fixam critérios para a sua utilização, bem como as restrições julgadas convenientes para evitar efeitos indesejáveis para o solo, água, plantas, animais e seres humanos, tendo em conta as classes definidas e o tipo de utilização.

Com base nas concentrações em metais pesados, materiais inertes antropogénicos, pedras e microrganismos patogénicos no Composto, estabeleceram-se nas Especificações Técnicas três classes de qualidade: Classe I, Classe II e Classe III, admitindo-se uma

quarta (Classe IIA), de carácter provisório, até a próxima revisão do referido documento. No Quadro I do Anexo IV do presente trabalho, estão indicados os valores máximos admissíveis dos teores dos parâmetros acima referidos para cada uma das classes estabelecidas.

O mesmo documento refere que a comercialização de Composto devidamente higienizado será garantida pela ausência no mesmo de *Salmonella spp.* em 25 g de matéria fresca, bem como pela fixação de um limite máximo admissível no número mais provável (NMP) de 1000 NMP/g do microrganismos *Escherichia coli*, indicador de contaminação fecal.

Na proposta para as Especificações Técnicas é ainda referido que o Composto deve apresentar um teor de humidade inferior a 40%; em relação à granulometria, 99% do material deverá passar por um crivo (de malha quadrada) de 25 mm; o teor de matéria orgânica do composto para uso generalizado na agricultura, reportado ao peso seco, deverá ser superior a 30%; e relativamente ao pH este deverá situar-se entre 5,5 e 8,5.

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

Para a realização do presente trabalho foi acompanhada uma das várias pilhas existentes na Estação de Compostagem de Resíduos Verdes do Aterro Sanitário do Barlavento (Portimão), pertencente à ALGAR S.A. (Figura 3.1).



**Figura 3.1.** Aterro Sanitário do Barlavento (Portimão).  
Fonte: Google Maps.

A pilha de compostagem que foi monitorizada, desde o dia da sua colocação, irá ser designada por Pilha 2. Para a realização dos ensaios biológicos realizados no âmbito do presente trabalho foram igualmente utilizados compostos de outras duas pilhas, designadas por Pilha 7 e Pilha 9, mas não se realizou a monitorização destas duas pilhas pois, foram iniciadas antes da Pilha 2.

#### 3.1. DESCRIÇÃO DA ALGAR S.A.

A ALGAR, Valorização e Tratamento de Resíduos Sólidos, S.A., foi constituída em 20 de Maio de 1995, pelo Decreto-Lei nº 109/95, que determina a criação de um Sistema Multimunicipal, destinado ao Desenvolvimento, Concepção, Construção e Exploração de um Processo de "Recolha Selectiva, Triagem e Tratamento de Resíduos Sólidos Urbanos do Algarve".

A estrutura accionista da ALGAR integra a E.G.F. – Empresa Geral do Fomento, S.A. que detém a maioria do Capital Social, com 56%, e os 16 municípios do Algarve com os restantes 44%.

Este sistema compreende dois Subsistemas, Barlavento e Sotavento. O Subsistema do Barlavento compreende o Aterro Sanitário Multimunicipal do Barlavento, localizado em

Porto de Lagos, Portimão e serve os concelhos de Albufeira, Aljezur, Lagoa, Lagos, Monchique, Portimão, Silves e Vila do Bispo e prevê-se uma vida útil de 24 anos. O aterro sanitário entrou em funcionamento em Fevereiro de 1998. Em 2004 entrou em funcionamento a unidade de compostagem de verdes do Barlavento nas instalações do aterro de Barlavento em Porto de Lagos. Na Figura 3.2 é possível observar um mapa das infraestruturas da ALGAR S.A.



**Figura 3.2.** Mapa de Infraestruturas da ALGAR S.A.  
(Fonte:www.algar.pt)

O composto produzido pelas Estações de Compostagem da ALGAR S.A. é comercializado pela mesma e designa-se Nutriverde®, tendo como principais consumidores os responsáveis pela instalação e manutenção de vários espaços verdes da região do Algarve, e é utilizado como fertilizante/corrector orgânico.

No quadro 3.1 são apresentadas as quantidades anuais de composto produzido desde 2008 até Novembro de 2010 nas duas estações de compostagem da ALGAR S.A.

**Quadro 3.1.** Quantidades anuais (toneladas) de composto produzido nas estações de compostagem da ALGAR S.A.

Ano	Produções de composto Nutriverde (toneladas)	
	Barlavento	Sotavento
2008	1495,23	956,3
2009	1582,05	937,92
2010	1524,95	920,41

### 3.2. BIOMASSAS UTILIZADAS NO PROCESSO DE COMPOSTAGEM

Os resíduos utilizados na montagem das pilhas são provenientes de sobras resultantes da manutenção de jardins e de espaços verdes, sendo que estes constituem uma biomassa putrescível que ao ser compostada permite a obtenção de compostos com elevada qualidade, normalmente designados por compostos verdes.



**Figura 3.3.** Resíduos Verdes antes da trituração.

Após a recepção dos resíduos verdes na Estação de Compostagem, os resíduos sofrem uma triagem em verdes que são compostáveis e verdes, que por se encontrarem misturados com outros resíduos são designados, não compostáveis.

No quadro 3.2 encontram-se as quantidades anuais de resíduos verdes compostáveis e não compostáveis, valores esses que dizem respeito às quantidades recebidas nas duas estações de compostagem da ALGAR. S.A, a do Barlavento e do Sotavento.

**Quadro 3.2.** Quantidades anuais (toneladas) de resíduos verdes compostáveis e não compostáveis das estações de compostagem da ALGAR S.A.

Ano	Quantidade de resíduos verdes (toneladas)	
	Não compostáveis	Compostáveis
2006	21 010,07	5 815,48
2007	13 259,70	15 992,96
2008	15 720,42	14 854,44
2009	21 250,32	14 995,00

Os resíduos verdes recebidos na unidade de compostagem são constituídos por relva cortada e outra vegetação rasteira, assim como por ramos de árvores (Figura 3.3), onde estes apresentam uma grande dimensão relativamente ao que se pretende para o processo, então todo o material recepcionado sofre uma trituração prévia, realizada por um equipamento específico para o efeito, como se pode ver pela Figura 3.4.



**Figura 3.4.** Máquina de destroçamento (triturador).

### **3.3. CARACTERIZAÇÃO DOS ENSAIOS DE COMPOSTAGEM. AMOSTRAGEM.**

A montagem das pilhas foi realizada com o auxílio de uma máquina com pá carregadora com uma capacidade de  $2,8 \text{ m}^3$  (Figura 3.5), que efectua o transporte do material a compostar desde o local de recepção e trituração até o local da compostagem, sendo que a dimensão das pilhas, normalmente, é de  $120 \text{ m} \times 5,5 \text{ m} \times 2,5 \text{ m}$ .



**Figura 3.5.** Máquina com pá carregadora.

Na unidade de compostagem do Barlavento é utilizado o sistema *windrow*, caracterizado pelo revolvimento mecânico das pilhas, onde a periodicidade do revolvimento tem em conta a temperatura da pilha, sendo que o respectivo equipamento é designado de máquina de revolvimento (Figura 3.6), e confere o formato de secção triangular às pilhas com uma altura de  $2,5 \text{ m}$ .





**Figura 3.6.** Máquina de revolvimento.

A pilha 2 teve um peso inicial de 216,6 toneladas (Figura 3.7). O seu revolvimento foi efectuado nos dias 5, 26, 32, 36, 39, 48, 50, 54, 57, 61, 63 e 67. A adição de água à pilha para a correcção do teor de humidade foi efectuada nos dias 26, 32, 48, 50, 54, 57, 61, 63 e 67.

No dia 22 de Abril de 2010 foi montada a pilha 2, no dia seguinte, procedeu-se à recolha da primeira amostra, designada por T<sub>2</sub>. As amostras seguintes foram recolhidas nos dias 23 (T<sub>23</sub>), 44 (T<sub>44</sub>) e 65 (T<sub>65</sub>). Esta última amostra foi recolhida no dia 25 de Junho e considerada já como sendo o composto final mas recolhido ainda em pilha, isto é, antes de passar pelo equipamento de crivagem (Quadro I.1 do Anexo I).

Para que as amostras fossem as mais representativas possível, procedeu-se à recolha de amostras elementares em diferentes pontos da pilha, sendo estas posteriormente misturadas e homogeneizadas, dando assim origem à amostra propriamente dita.



**Figura 3.7.** Pilhas de Compostagem.

A pilha 2, no final do processo de compostagem tinha um peso de 146 toneladas. A crivagem da mesma foi iniciada no dia 29 de Junho, por um equipamento específico, com uma malha de 15 mm (Figura 3.8). O peso do composto final obtido foi de 110



toneladas. O refugo foi crivado e obteve-se o Nutrverde Décor (material usado com o mesmo propósito que a casca de pinheiro para evitar a erosão do solo) com um peso de 9,35 toneladas. O restante material, com um peso de 25,70 toneladas é o refugo que vai para aterro. No dia 1 de Julho recolheu-se uma amostra do composto da Pilha 2 já crivado, com a qual se realizou os ensaios biológicos.



**Figura 3.8.** Equipamento de crivagem.

Geralmente, na Estação de Compostagem do Barlavento, o processo leva cerca de 10 a 12 semanas até estar concluído, mas tendo em conta que as pilhas se encontram num parque ao ar livre, o processo de compostagem pode ser mais moroso, visto estar dependente das condições climáticas. A Figura 3.9 indica as etapas pelas quais os resíduos verdes passam desde que são recepcionados na Estação de Compostagem até à saída do composto.



**Figura 3.9.** Diagrama do processo de compostagem.

Fonte: [www.algar.pt](http://www.algar.pt)

### **3.4. MÉTODOS DE ANÁLISE**

As amostras recolhidas ( $T_2$ ,  $T_{23}$ ,  $T_{44}$ ,  $T_{65}$ ), assim como os compostos ( $CF_2$ ,  $CF_7$ ,  $CF_9$ ) foram analisados de acordo com os parâmetros físicos, físico-químicos e químicos. A granulometria e os ensaios de germinação e crescimento foram apenas avaliados nos compostos  $CF_2$ ,  $CF_7$  e  $CF_9$ .

#### **3.4.1. PARÂMETROS FÍSICOS E FÍSICO-QUÍMICOS**

##### **❖ TEMPERATURA**

A temperatura foi registada na própria pilha ao longo de todo o processo de compostagem, através de uma sonda específica para o efeito colocada a uma altura de 1,5 m de profundidade, de forma aleatória, algumas vezes nos extremos da pilha e noutras na zona mais central. Os resultados foram expressos em  $^{\circ}C$ .

##### **❖ MASSA VOLÚMICA**

A determinação da massa volúmica aparente baseou-se na Norma para a determinação do pH – EN 13037 (Dezembro de 1999). Utilizou-se uma proveta de 1 litro, cujo peso foi tarado antes de se proceder ao seu enchimento, tendo este sido feito para que a amostra ficasse compacta e de seguida anotou-se o peso. Os resultados são expressos em  $g\ L^{-1}$ .

##### **❖ GRANULOMETRIA**

A granulometria foi determinada através da pesagem de uma certa quantidade de amostra, previamente seca a  $104^{\circ}C$ , e posteriormente procedeu-se ao peneiramento desta através de crivos com uma malha sucessivamente mais apertada, respectivamente de 20 mm, 10 mm, 5 mm, 2 mm e 1 mm. Do material que resultou dos três primeiros crivos (superior a 5 mm) procedeu-se à triagem das pedras e anotou-se o seu peso e o material que resultou dos quatro primeiros crivos (superior a 2 mm) realizou-se a triagem de inertes, anotando-se também o seu peso.

##### **❖ TEOR DE HUMIDADE**

O teor de humidade foi determinado tendo em conta a Norma EN 13040 (Dezembro de 1999) por gravimetria após secagem numa estufa a  $104\ ^{\circ}C$ , de cerca de 10 g de amostra até atingir um peso constante. Também foi determinado o teor de humidade em cerca de 1 g de amostra previamente seca na estufa a  $75\ ^{\circ}C$  e depois moída num diâmetro de partículas de 2 mm. Os resultados foram expressos em percentagem ( $g\ 100\ g^{-1}$ ).

### ❖ pH E CONDUTIVIDADE ELÉCTRICA

A determinação do pH foi de acordo com a Norma EN 13037 (Dezembro 1999), por potenciometria num extracto aquoso preparado com uma quantidade equivalente a 60 mL de amostra e 300 mL de água desionizada após uma hora de agitação. A condutividade eléctrica foi avaliada tendo em conta a Norma EN 13038 (Dezembro 1999). Após a leitura do pH, decantou-se o extracto e procedeu-se à leitura. Os resultados foram expressos em  $\text{mS cm}^{-1}$ .

### 3.4.2. PARÂMETROS QUÍMICOS

#### ❖ MATÉRIA ORGÂNICA

A matéria orgânica foi determinada tendo em conta a Norma EN 13039 (Dezembro 1999), por gravimetria após incineração da amostra, em mufla, 450 °C durante pelo menos 8 horas, de cerca de 10 g de amostra. Os resultados foram expressos em percentagem ( $\text{g } 100\text{g}^{-1}$  de matéria seca).

#### ❖ CARBONO ORGÂNICO TOTAL

O carbono orgânico total foi determinado pelo método de Tinsley. A 0,0150 g da amostra seca a 75 °C e moída, diâmetro de partículas com 2 mm, adicionou-se 25 mL de solução extractiva [(19,87 g de dicromato de sódio ( $\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) + 200 mL de ácido ortofosfórico + 400 mL de ácido sulfúrico)/L]. A mistura, num balão Erlenmeyer com o tubo de refluxo, foi colocada numa placa de aquecimento e esteve em ebulição moderada durante 2 horas.

Após arrefecimento, adicionou-se cerca de 200 mL de água desionizada e 4 mL de solução indicadora [(0,3 g de difenilamina-sulfonato de bário + 58,7 g de cloreto de bário)/L]. Por fim, efectuou-se a titulação com a solução de sal de Mohr [(156,86 g de sulfato ferroso amoniacal  $\cdot 6\text{H}_2\text{O}$  + 20 mL de ácido sulfúrico)/L]. Foi efectuado em simultâneo um ensaio em branco apenas com a solução extractiva e ainda um ensaio para a determinação da concentração do sal de Mohr.

#### ❖ AZOTO AMONIAL ( $\text{N-NH}_4^+$ )

O azoto amoniacal foi determinado por destilação em meio alcalino (NaOH), após extracção de 50 g de amostra com 200 mL de KCL 2M com agitação durante uma hora e filtração através de papel de filtro *Schleicher & Schuell* (S&S) de banda preta. Os resultados foram expressos em  $\text{mg de N-NH}_4^+ \text{ kg}^{-1}$  de matéria seca.

### ❖ AZOTO NÍTRICO (N-NO<sub>3</sub>)

O azoto nítrico foi avaliado na sequência da determinação do azoto amoniacal; após a primeira destilação foram adicionados 5 mL de uma solução de sulfato de prata a 0,5% e 25 mL de uma solução de sulfato ferroso (contendo 150 g de sulfato ferroso L<sup>-1</sup> + 20 mL de ácido sulfúrico concentrado), em substituição da liga de *Dewarda*, permitindo tornar o meio redutor, tendo-se procedido seguidamente a uma nova destilação. Os resultados foram expressos em mg de N-NO<sub>3</sub> kg<sup>-1</sup> de matéria seca.

### ❖ AZOTO TOTAL

Para a determinação do azoto total, a amostra foi seca a 75°C e moída para que o diâmetro de partículas ficassem com 2 mm. Dessa amostra, pesou-se 1 g e juntou-se 10 mL de uma solução de ácido sulfúrico com ácido salicílico, ficando a actuar durante uma noite. De seguida, uma toma de 50 mL do extracto foi destilada em meio alcalino e depois realização uma titulação. Os resultados foram expressos em percentagem (g 100g<sup>-1</sup> de matéria seca).

### ❖ RELAÇÃO C/N

A relação C/N foi calculada através da seguinte expressão:

$$Relação\ C/N = \frac{\% \text{ Carbono total}}{\% \text{ Azoto total}}$$

## 3.4.3. AVALIAÇÃO DA ESTABILIDADE/MATURAÇÃO

### 3.4.3.1. TESTE DO AUTO-AQUECIMENTO

O teste do auto-aquecimento foi realizado após a correcção do teor de humidade a 35% de 800 g a 1000 g de amostra a qual foi colocada num recipiente adiabático (*Dewar flask*) mantido à temperatura ambiente (Figura 3.10).



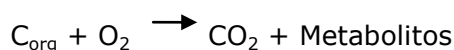
**Figura 3.10.** *Dewar* (esquerda com amostra; direita com composto final).

Foi colocado um termómetro digital a 2/3 da altura do contentor, sendo anotado o valor máximo da temperatura atingida, expressa em °C. Foi determinada a classe de estabilidade com base na temperatura máxima alcançada durante o teste de auto-aquecimento de acordo com a classificação Laga-Merkblatt M10 (1995).

#### 3.4.3.2. ACTIVIDADE RESPIRATÓRIA AO FIM DE 4 DIAS (AT4)

A actividade respiratória (AT4) descreve a carência bioquímica de oxigénio de uma amostra sólida durante um período de observação de 4 dias. O método é baseado na medição da diferença de pressão no sistema fechado.

Durante a degradação biológica das substâncias orgânicas (Carbono orgânico) pelos microrganismos ocorre consumo de oxigénio e libertação de dióxido de carbono de acordo com a seguinte equação:



O dióxido de carbono libertado é absorvido por um absorvente colocado no frasco onde é realizado o ensaio, consequentemente ocorre um decréscimo proporcional da pressão da fase gasosa no frasco onde ocorre a reacção resultante do consumo de oxigénio. Neste sistema fechado a medição da pressão é feita independentemente da pressão atmosférica. O sistema de medição utilizado consiste num sensor electrónico de pressão, num frasco de *Schott* de 2000 mL e num dispositivo para colocar o absorvente do dióxido de carbono no interior do frasco.

O teste AT4 foi realizado com 40 g de amostra com a humidade corrigida a 45%. Utilizou-se 2,5 mL de solução de hidróxido de potássio (KOH) a 45% como absorvente do dióxido de carbono. O sistema foi incubado numa câmara termostatzada à temperatura de 20 °C durante 4 dias. Os resultados foram registados on-line no sensor electrónico de pressão por leitura de infravermelho. A actividade respiratória ao fim de 4 dias (AT4) nas condições do ensaio foi expressa em  $mgO_2 g^{-1}$  de matéria seca da amostra e calculada a partir da seguinte equação:

$$AT4 = k_{20^{\circ}C} \times \frac{V_{GL}}{m_{MS}} \times \Delta p$$

$k_{20^{\circ}C}$  - 1,313 ( $mg\ hPa^{-1}\ L^{-1}$ )       $\Delta p$  - variação de pressão (hPa)

$V_{GL}$  - volume de gás livre (L)       $m_{MS}$  - massa de matéria seca da amostra usada (g)

### 3.4.3.3. AVALIAÇÃO DA FITOTOXICIDADE

Para os compostos estudados a avaliação da fitotoxicidade foi realizada através dos seguintes testes biológicos:

- Índice de Germinação (IG), determinado a partir de ensaios de germinação com o Agrião (*Lepidium sativum* L.), a Alface (*Lactuca sativa* L.) e o Tomate (*Lycopersicum esculentum* L.);
- Índice de Crescimento (IC), determinado a partir de ensaios de crescimento com as mesmas espécies vegetais utilizadas nos ensaios de germinação.

#### ❖ ÍNDICE DE GERMINAÇÃO

A avaliação da fitotoxicidade através do índice de germinação foi realizada segundo o método proposto por Zucconi *et al.* (1981b e 1985). Assim, inicialmente procedeu-se à correcção do teor de humidade a 60% de cerca de 1000 g de amostra de cada composto.

Posteriormente a amostra foi deixada em repouso à temperatura durante 30 minutos e de seguida procedeu-se à extracção da fracção solúvel em água, sob a pressão de 250 atm durante 15 minutos utilizando uma prensa hidráulica (Figura 3.11).

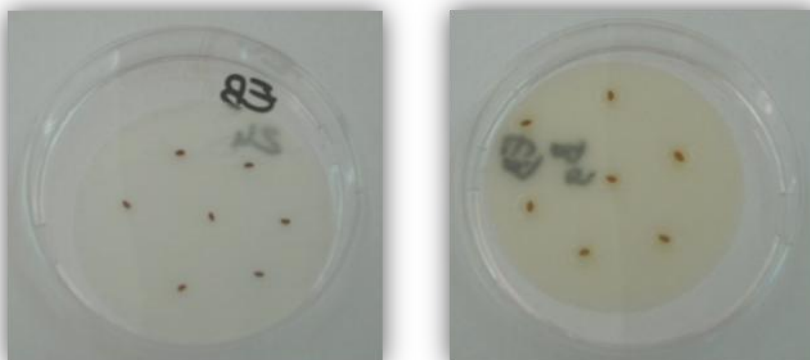


**Figura 3.11.** Aspecto geral da prensa hidráulica e pormenor do crivo e do êmbolo do cilindro utilizados na obtenção do extracto aquoso das amostras, para a avaliação da fitotoxicidade segundo a metodologia proposta por Zucconi *et al.* (1981b e 1985).

O extracto aquoso obtido foi esterilizado por filtração com membranas *Nalgene* de porosidade 0,2  $\mu\text{m}$  e de seguida procedeu-se à diluição do extracto a 30% com água esterilizada.

Os ensaios de germinação foram realizados em placas de Petri contendo uma folha de papel de filtro S&S banda azul (Figura 3.12). Para cada extracto aquoso preparado foi

realizado um tempo de incubação de 24 horas e 48 horas para o Agrião, de 5 dias para o Tomate e de 6 dias para a Alface, a 27 °C na estufa.



**Figura 3.12.** Placas de Petri dos ensaios de germinação, a da esquerda placa testemunha, a da direita com extracto aquoso.

Para cada extracto aquoso foram preparadas 15 placas, cada uma com 7 sementes para cada espécie; simultaneamente foram preparadas 15 placas testemunha, nas quais se utilizou água desionizada. A quantidade de extracto aquoso da amostra utilizado nas placas a incubar foi dependente do tempo de incubação, assim, para o Agrião incubado 24 horas e 48 horas utilizou-se respectivamente, 1 mL e 2 mL, para a alface e o Tomate foram 3 mL. Após a incubação foi contado o número de sementes germinadas em cada placa e medido o comprimento radicular (mm) de cada semente germinada (Figura 3.13).



**Figura 3.13.** Placas de Petri dos ensaios de germinação na estufa de incubação.

O índice de germinação (%IG) foi calculado através da seguinte expressão:

$$\% IG = \frac{MNSG(a) \times MCR(a)}{MNSG(t) \times MCR(t)} \times 100$$

MNSG = média do número de sementes germinadas

MCR = média do comprimento da radícula

(a)= ensaio com amostra de composto

(t) = ensaio com a testemunha (água desionizada)

### ❖ ÍNDICE DE CRESCIMENTO

A realização dos ensaios de crescimento foi efectuada com uma mistura de cada composto que se pretendeu avaliar com um solo artificial, nas proporções de 1/3 (v/v) de composto e 2/3 (v/v) do solo artificial, o qual foi preparado com turfa, perlite e areia nas proporções de 1/3 (v/v) de turfa, 1/3 (v/v) de perlite e 1/3 (v/v) de areia (CAN/BNQ, 1996 modificado em 1997).

Utilizaram-se caixas de plástico com a capacidade de 1 Litro e perfuração na base, tendo sido preparadas 3 caixas com a mistura da amostra a ensaiar e solo artificial para cada um dos compostos, simultaneamente foram preparadas 3 caixas com solo artificial, as quais constituem as testemunhas. Todas as caixas foram semeadas com 16 sementes (Agrião, Alface e Tomate) e foram mantidas durante todo o ensaio a 80% da respectiva capacidade de retenção de água, a qual foi previamente determinada.

As caixas foram colocadas numa câmara de vegetação, onde se simula a luz do dia através da instalação de lâmpadas de halogéneo de 52 Watt de potência, com 13 horas de luz/dia e a temperatura do ar foi mantida entre os 20°C e os 25°C para manter a humidade controlada. Os ensaios de crescimento decorreram durante 14 dias contados após a germinação de pelo menos 50% das sementes nas caixas testemunha.

No final dos 14 dias foi colhida a parte aérea das plantas e avaliado o peso fresco do material vegetal de cada caixa. De seguida procedeu-se à secagem do material vegetal em estufa com ventilação a 55°C-60°C (Figura 3.14). Após a secagem, avaliou-se o peso do material seco.





**Figura 3.14.** Parte aérea das plantas e secagem do material vegetal na estufa.

Segundo Jodice (1989) o índice de crescimento (%IC) é calculado com a seguinte expressão:

$$\%IC = \frac{PS(a)}{PS(t)} \times 100$$

IC = índice de crescimento      PS = peso seco (g)

(a) = ensaio com a amostra de composto a analisar

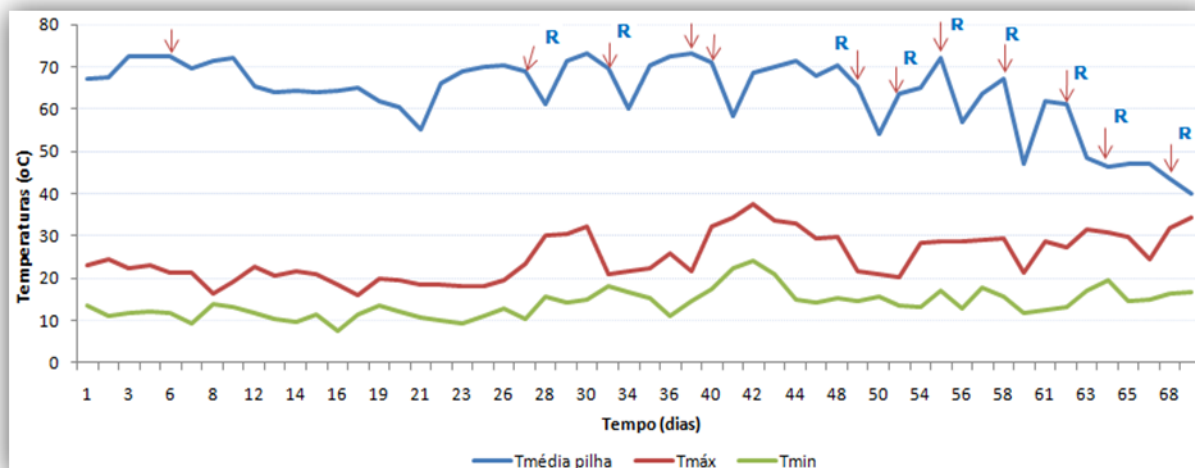
(t) = ensaio com a testemunha (solo artificial)

#### **3.4.4. ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS RESULTADOS**

A análise estatística dos resultados obtidos foi realizada através de uma análise de variância com base no modelo factorial, utilizando  $\alpha = 0,05$ , com o software *Statistic* (versão 7.0) para Windows. Utilizou-se o teste de Tukey para a separação de médias ao mesmo nível de significância.

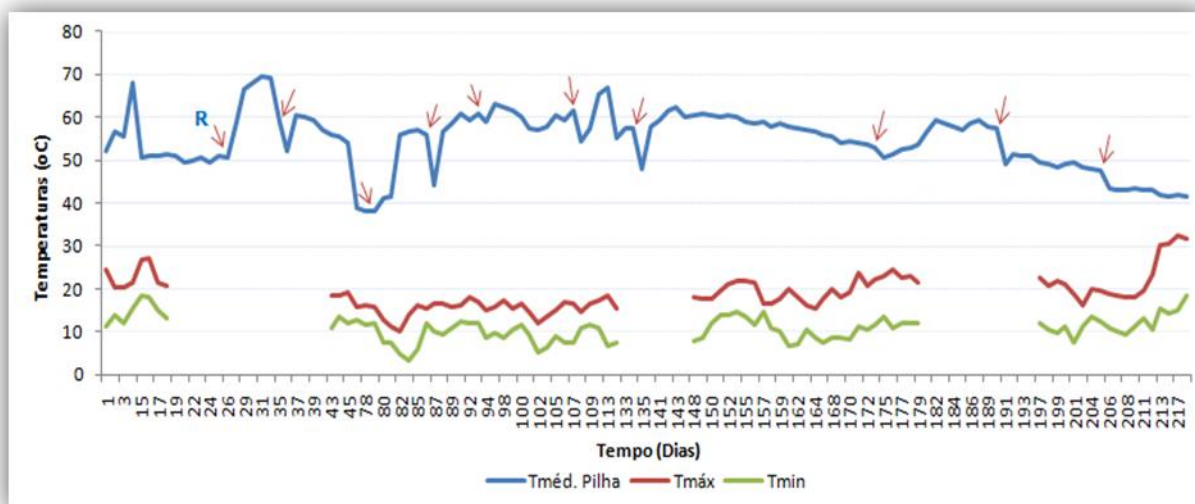
#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A evolução da temperatura média registada durante o processo de compostagem da Pilha 2 assim como as variações da temperatura máxima e mínima exterior, obtidas através da estação meteorológica instalada na Estação de Compostagem, são apresentadas na Figura 4.1.

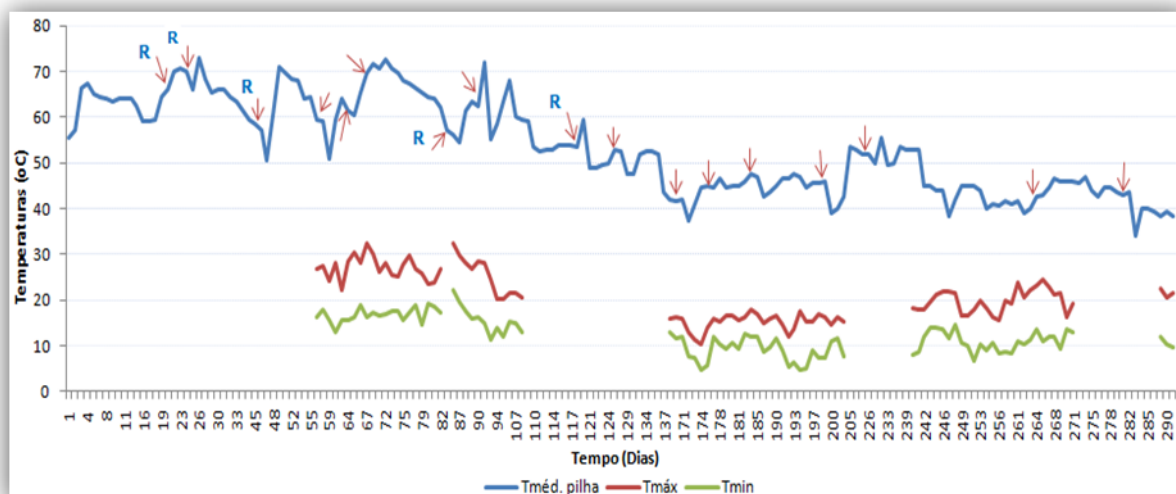


**Figura 4.1.** Evolução da temperatura média da pilha e das temperaturas máxima e mínima exterior durante o processo de compostagem da Pilha 2 ( ↓ - Revolvimento; R - Adição de água por rega).

Apesar das pilhas 7 e 9 não terem sido monitorizadas no âmbito deste trabalho, foi possível obter os dados da evolução da temperatura durante a compostagem destas pilhas, as quais são apresentadas na Figura 4.2 e 4.3 para a Pilha 7 e para a Pilha 9 respectivamente.



**Figura 4.2.** Evolução da temperatura média da pilha e das temperaturas máxima e mínima exterior durante o processo de compostagem da Pilha 7 ( ↓ - Revolvimento; R - Adição de água por rega).



**Figura 4.3.** Evolução da temperatura média da pilha e das temperaturas máxima e mínima exterior durante o processo de compostagem da Pilha 9 (↓ - Revolvimento; R- Adição de água por rega).

O valor médio das temperaturas foi calculado a partir de valores de temperatura registados em dois pontos aleatórios das pilhas, alternados entre os extremos e a zona central das mesmas. Nos Anexos I, II e III são apresentados os resultados e as datas em que se efectuaram os registos das temperaturas das pilhas assim como os valores de vários parâmetros meteorológicos obtidos por uma estação meteorológica que se encontrava no local.

Através da observação das figuras anteriores constata-se que nas três pilhas a temperatura no início do processo já se encontrava na fase termófila (temperatura > 40°C), com temperaturas iniciais na Pilha 2, Pilha 7 e Pilha 9 de, respectivamente 67 °C , 52 °C , e 56 °C.

Estas temperaturas iniciais demasiado elevadas, para um processo de compostagem típico, devem-se ao facto dos Resíduos Verdes estarem um período de tempo em espera até serem colocados no parque onde são montadas as pilhas, após serem recebidos na Estação de Compostagem e posteriormente triturados. Assim, o material sofre um aumento da temperatura, já que o processo de compostagem se inicia imediatamente a partir do momento em que o material está amontoado após a trituração.

Os gráficos relativos à evolução da temperatura para as três pilhas mostram oscilações ao longo do tempo, o que pode ser explicado por as pilhas estarem num parque ao ar livre e sujeitas às variações das condições meteorológicas. De facto, a evolução da temperatura máxima e mínima exteriores também registaram oscilações durante o período de compostagem das pilhas.

A Pilha 2 teve como temperatura média máxima registada de 73 °C (dias 3, 4, 5, 25, 29 e 30), tendo atingido a fase mesófila final (40 °C) no dia 54 do processo, dia este

considerado como o final do processo de compostagem, ou seja, o dia a partir do qual a biomassa estabilizou, estando a pilha pronta para a crivagem. Esta pilha registou temperaturas médias, acima dos 60 °C durante a maior parte do processo, comparativamente com as temperaturas médias da Pilha 7 e da Pilha 9.

Pela Figura 4.1 é possível constatar que a temperatura máxima exterior é superior a 20 °C na maior parte do processo, e que, em alguns dias essa temperatura chegou a rondar os 40 °C. Portanto, de uma forma geral, a temperatura exterior foi mais elevada durante o processo de compostagem da Pilha 2 do que nas outras duas pilhas.

Em relação à Pilha 7 a temperatura média máxima registada foi de 69 °C (dia 20), não chegando a atingir a temperatura característica da fase mesófila final (40 °C), tendo a pilha sido crivada quando estava a 42 °C. Assim, o que determinou o final do processo de compostagem da pilha não foi a temperatura, mas o facto de após o último revolvimento não ter ocorrido uma elevação da temperatura da pilha o que pressupõe que a mesma já estaria estabilizada.

Relativamente à Pilha 9, a temperatura média máxima registada foi de 73 °C (dia 22 e 52), atingindo a fase mesófila final no dia 173 (34 °C), tendo a pilha sido crivada no dia 179 do processo.

Como referido, a Pilha 2 foi acompanhada desde o dia da sua colocação no parque até ao dia da sua crivagem, tendo sido recolhidas ao longo do processo de compostagem quatro amostras do material da pilha, designadas por T<sub>2</sub>, T<sub>23</sub>, T<sub>44</sub> e T<sub>65</sub>, ou seja, as amostras foram retiradas nos dias 2, 23, 44 e 65 do processo de compostagem. O quadro 4.1 refere-se à caracterização físico-química e química dessas amostras.

**Quadro 4.1.** Evolução dos parâmetros analisados nas amostras T<sub>2</sub>, T<sub>23</sub>, T<sub>44</sub> e T<sub>65</sub> da Pilha 2.

Parâmetros	T <sub>2</sub>	T <sub>23</sub>	T <sub>44</sub>	T <sub>65</sub>
<b>Humidade (%)</b>	45,28 a*	39,13 b	43,23 ab	44,80 a
<b>Matéria Orgânica (% m.s.)</b>	46,60 a	46,52 a	45,67 a	44,75 a
<b>Azoto Total (% m.s.)</b>	1,25 a	1,50 a	1,23 a	1,25 a
<b>Azoto Amoniacal (mg Kg<sup>-1</sup> m.s.)</b>	132,52 c	81,87 a	1,00 b	62,25 a
<b>Azoto Nítrico (mg Kg<sup>-1</sup> m.s.)</b>	57,76 b	51,87 b	1,00 a	1,03 a
<b>Carbono Orgânico Total (% m.s.)</b>	27,32 b	17,33 a	21,52 ab	21,97 ab
<b>Relação C/N</b>	21,94 b	11,58 a	17,44 ab	17,55 ab
<b>pH</b>	7,48 a	7,73 ab	7,80 b	8,60 c
<b>Condutividade Eléctrica (mS cm<sup>-1</sup>)</b>	1,04 a	1,93 d	1,29 b	1,56 c
<b>Teste AT4 (mgO<sub>2</sub> g<sup>-1</sup> m.s.)</b>	10,85 d	5,93 a	7,32 b	9,71 c
<b>Teste do auto-aquecimento<sup>(1)</sup> (°C)</b>	29	27	27,6	31,9

m.s. – valores referidos à matéria seca.

<sup>(1)</sup> Temperatura máxima durante o teste.

\* As médias assinaladas com a mesma letra para o mesmo parâmetro, não apresentam diferenças significativas entre si para  $\alpha=0,05$ .

O teor de humidade da Pilha 2 teve um decréscimo significativo ( $\alpha=0,05$ ) da amostra  $T_2$  para a  $T_{23}$ , estando esta diminuição relacionada com as elevadas temperaturas registadas neste período para o material em compostagem. Posteriormente, ocorreu um aumento do teor de humidade nas amostras  $T_{44}$  e  $T_{65}$ , que pode ser explicado, pela realização de regas mais frequentes na pilha, no período da recolha dessas mesmas amostras. De acordo com Vallini (1995), a diminuição verificada no teor de humidade durante a compostagem é devida ao consumo de água por parte dos microrganismos, perdas por lixiviação e evaporação favorecida pelas operações de revolvimento e de arejamento das biomassas.

O teor de matéria orgânica foi decrescendo muito ligeiramente, ao longo do período de compostagem, porém, sem apresentar variação significativa ( $\alpha=0,05$ ). O facto de os valores de matéria orgânica estarem baixos logo na primeira amostra ( $T_2$ ) e não terem sofrido variação significativa ao longo do processo de compostagem, é um indicador de que o processo já tinha iniciado antes da montagem da pilha, ou seja, enquanto o material esteve armazenado após a trituração.

Os valores de azoto total, não sofreram uma variação significativa ( $\alpha=0,05$ ). O teor de carbono orgânico total apenas apresentou uma diminuição significativa da amostra  $T_2$  para a  $T_{23}$ . Consequentemente, a relação C/N teve uma evolução concordante com a evolução dos valores do teor de azoto total e do carbono orgânico total observados.

O azoto amoniacal teve uma variação significativa ( $\alpha=0,05$ ) ao longo do processo, apresentando um valor mais elevado na amostra  $T_2$ , diminuindo consideravelmente o seu valor na amostra  $T_{23}$ . Na amostra  $T_{44}$ , o teor de azoto amoniacal atingiu um valor muito baixo, o que coincidiu com facto de a temperatura máxima exterior ter rondado os 40 °C dois dias antes de se ter retirado a dita amostra, podendo-se assim concluir que o azoto amoniacal se tenha perdido por volatilização. Porém, o seu valor voltou a aumentar na amostra  $T_{65}$ .

Os valores do azoto nítrico não variaram de forma significativa ( $\alpha=0,05$ ) para as amostras  $T_2$  e  $T_{23}$ , tendo-se verificado uma diminuição significativa entre as amostras  $T_{23}$  e  $T_{44}$ . Esta evolução foi semelhante à observada para o azoto amoniacal, quando o que deveria ter ocorrido seria a diminuição dos valores de azoto amoniacal e o aumento dos valores do azoto nítrico. A diminuição acentuada no valor do azoto nítrico, provavelmente esteve relacionada com a sua perda por lixiviação incrementada pela adição de água para correcção do teor de humidade da pilha.

Segundo Cunha Queda (1999), as moléculas que contêm azoto são degradadas na fase activa do processo por microrganismos heterotróficos aminizantes, originando

aminas e aminoácidos que em seguida serão transformados em amoníaco, por microrganismos heterotróficos amonificantes. O azoto na forma amoniacal sofre volatilização por efeito do aumento da temperatura e do pH, provocando uma diminuição do azoto total. Durante o processo de compostagem ocorre outra transformação, a conversão do azoto amoniacal em azoto nítrico. Com esta transformação diminui o azoto na forma  $\text{NH}_4^+$  e aumenta nas formas  $\text{NO}_3^-$  e  $\text{NO}_2^-$ , o que não se verificou no processo de compostagem desta Pilha 2.

Relativamente à evolução do pH, os valores das três primeiras amostras, respectivamente da T<sub>2</sub>, T<sub>23</sub> e T<sub>44</sub>, foram aumentando gradualmente, mas os valores observados para as amostras T<sub>2</sub>, T<sub>23</sub> e T<sub>44</sub> não apresentaram diferenças significativas. O valor para a amostra T<sub>65</sub> foi bastante elevado, comparativamente às outras três amostras. O valor do pH da última amostra além de variar significativamente ( $\alpha=0,05$ ) das outras, apresenta-se ainda muito elevado para final de processo de compostagem, valor esse que deveria estar mais próximo da neutralidade.

Relativamente aos valores da condutividade eléctrica, este foi o parâmetro que sofreu a variação mais significativa ( $\alpha=0,05$ ), tendo aumentado consideravelmente da amostra T<sub>2</sub> para a amostra T<sub>23</sub>, de seguida o seu valor diminui na amostra T<sub>44</sub> e por último teve um ligeiro aumento na amostra T<sub>65</sub>. De acordo com Raviv *et al.* (1987), o aumento da condutividade eléctrica ao longo do processo de compostagem é resultado da mineralização parcial da matéria orgânica, originando o aumento do teor de sais minerais na matriz em compostagem.

O teor de matéria orgânica apresentou valores muito próximos ao longo das amostras, portanto, se a condutividade eléctrica aumentou tão significativamente da amostra T<sub>2</sub> para a T<sub>23</sub>, deve-se à Pilha 2 ter estado tantos dias, sem se realizar a adição de água, o que resultou numa maior concentração do teor de sais minerais na matriz em compostagem. Nas amostras seguintes, T<sub>44</sub> e a T<sub>65</sub>, os respectivos valores de condutividade eléctrica foram mais baixas do que na T<sub>23</sub>, estando relacionado com adições de água e revolvimentos mais frequentes, após a recolha da segunda amostra (T<sub>23</sub>).

A avaliação da estabilidade através da actividade respiratória ao fim de 4 dias (AT<sub>4</sub>) indicou valores que variaram de forma significativa ( $\alpha=0,05$ ) nas quatro amostras. A amostra T<sub>2</sub> apresentou o valor mais elevado, valor esse que passa para metade na T<sub>23</sub>, voltando a subir sucessivamente na T<sub>44</sub> e T<sub>65</sub>. Schultz (1961) foi um dos primeiros autores a verificar que compostos com diferentes teores de humidade apresentavam

diferentes consumos de oxigénio. Chrometza (1968) mostrou que o consumo de  $O_2$  e a emissão de  $CO_2$  aumentava rapidamente no início da compostagem e posteriormente diminuía até ao final do processo. Portanto, estes autores relacionavam a estabilidade dos compostos com a taxa de respiração.

A avaliação da estabilidade pelo teste do auto-aquecimento, indicou um valor inicial de  $29\text{ }^{\circ}\text{C}$  na primeira amostra ( $T_2$ ), decrescendo na seguinte ( $T_{23}$ ), aumentando ligeiramente na  $T_{44}$  e, na  $T_{65}$  voltou a aumentar. Pela evolução do teste de auto-aquecimento e tendo em conta que se obteve um valor desse teste de  $31,9\text{ }^{\circ}\text{C}$  na última amostra ( $T_{65}$ ) da Pilha 2, pode-se prever que o composto final desta pilha será de acordo com a Classe de Estabilidade, de Classe IV, sendo apenas os compostos pertencentes à Classe de Estabilidade mais elevada (Classe V), os que apresentarem no teste de auto-aquecimento uma temperatura inferior a  $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

No quadro Quadro 4.2 faz-se referência aos vários parâmetros que foram analisados nos três compostos utilizados nos ensaios biológicos de germinação e de crescimento, de forma a se realizar uma discussão mais completa dos resultados desses mesmos ensaios biológicos que serão apresentados posteriormente.

**Quadro 4.2.** Resultados dos parâmetros analisados nos compostos  $CF_2$ ,  $CF_7$  e  $CF_9$ .

Parâmetros	$CF_2$	$CF_7$	$CF_9$
<b>Humidade (%)</b>	40,31 <b>b*</b>	45,67 <b>a</b>	45,19 <b>a</b>
<b>Matéria Orgânica (% m.s.)</b>	39,72 <b>b</b>	37,42 <b>ab</b>	34,23 <b>a</b>
<b>Azoto Total (% m.s.)</b>	1,31 <b>a</b>	1,41 <b>a</b>	1,75 <b>b</b>
<b>Azoto Amoniacal (<math>\text{mg Kg}^{-1}</math> m.s.)</b>	48,01 <b>b</b>	1,05 <b>a</b>	67,69 <b>c</b>
<b>Azoto Nítrico (<math>\text{mg Kg}^{-1}</math> m.s.)</b>	32,21 <b>b</b>	83,90 <b>a</b>	63,18 <b>a</b>
<b>Carbono Orgânico Total (% m.s.)</b>	21,12 <b>a</b>	20,53 <b>a</b>	8,94 <b>b</b>
<b>Relação C/N</b>	16,08 <b>a</b>	14,51 <b>a</b>	5,12 <b>b</b>
<b>pH</b>	8,04 <b>b</b>	8,58 <b>c</b>	7,50 <b>a</b>
<b>Condutividade Eléctrica (<math>\text{mS cm}^{-1}</math>)</b>	1,69 <b>c</b>	1,40 <b>b</b>	0,833 <b>a</b>
<b>Teste AT4 (<math>\text{mgO}_2 \text{ g}^{-1}</math> m.s.)</b>	10,23 <b>b</b>	6,21 <b>a</b>	5,79 <b>a</b>
<b>Teste do auto-aquecimento<sup>(1)</sup> (<math>^{\circ}\text{C}</math>)</b>	34,1	27,4	29

m.s. – valores referidos à matéria seca.

<sup>(1)</sup>Temperatura máxima durante o teste.

\* As médias assinaladas com a mesma letra para o mesmo parâmetro, não apresentam diferenças

A partir dos resultados apresentados no quadro 4.2 verifica-se que os três compostos apresentam diferenças entre si para alguns parâmetros, o que pode ser explicado pelo facto de o processo de compostagem de cada um dos compostos não ter ocorrido no mesmo período de tempo, estando sujeitos a diferentes condições meteorológicas

(Anexos I, II e III) e provavelmente devido à diferente composição das biomassas utilizadas.

Outro aspecto que pode influenciar diferentes valores nos parâmetros dos compostos é o material recepcionado na Estação de Compostagem do Barlavento, que pode variar sazonalmente, dependendo das épocas de manutenção dos jardins e da produção dos agricultores da região.

O teor de humidade não variou de forma significativa ( $\alpha=0,05$ ) para os compostos CF<sub>7</sub> e CF<sub>9</sub>. O composto CF<sub>2</sub> apresentou o teor de humidade mais baixo o que poderá estar relacionado com o facto do processo de compostagem desta pilha ter ocorrido durante a época Primavera/Verão, onde a precipitação foi mais fraca.

No caso dos compostos CF<sub>7</sub> e CF<sub>9</sub>, estes apresentaram teores de humidade à volta dos 45%, os quais estão acima do limite proposto nas Especificações técnicas. Estes valores não tiveram a ver com a adição de água na pilha, já que a rega apenas foi efectuada uma vez no início do processo, no caso da pilha do composto CF<sub>7</sub>. Na pilha do composto CF<sub>9</sub>, as regas foram efectuadas mais vezes, apenas na primeira metade do seu processo de compostagem (Figura 4.2 e Figura 4.3), pelo que a humidade destas pilhas foi influenciada pelas condições meteorológicas, mais especificamente devido à precipitação ocorrida na altura do processo de compostagem das mesmas (Figura II.1 do Anexo II e Figura III.1 do Anexo III).

De acordo com a proposta para as Especificações técnicas sobre qualidade e utilizações do composto, os três compostos apresentam valores acima do limite proposto relativamente ao teor de humidade (inferior a 40%). O CF<sub>2</sub> é o que está apenas ligeiramente acima do limite.

Pela observação da figura 4.1, constata-se que foi efectuada o revolvimento e rega já no final do processo, caso se tivesse realizado apenas o revolvimento sem a adição de água à pilha, é provável que o composto CF<sub>2</sub> já apresentasse um teor de humidade abaixo do limite. Na altura do processo de compostagem da Pilha 2, a sonda para o controlo da humidade encontrava-se avariada, o que não ajudou a realizar um controlo eficaz deste parâmetro.

Para a matéria orgânica, em geral os valores observados para os três compostos não variaram significativamente ( $\alpha=0,05$ ); contudo o composto CF<sub>2</sub> apresentou o valor mais elevado, seguido do CF<sub>7</sub> e por último o CF<sub>9</sub>.

O teor de matéria orgânica dos três compostos apresentou valores superiores a 30%, sendo este o limite mínimo que consta na proposta para as Especificações técnicas sobre qualidade e utilizações do composto. Ainda segundo a mesma proposta das



Especificações técnicas o pH do composto deve situar-se entre 5,5 e 8,5. O CF<sub>7</sub> foi o único que apresentou um valor superior, 8,58, enquanto o CF<sub>2</sub> e CF<sub>9</sub> têm valores dentro do intervalo pretendido.

Os valores de pH dos três compostos diferem significativamente ( $\alpha=0,05$ ). Todos os compostos têm um valor de pH acima da neutralidade, embora o CF<sub>9</sub> esteja muito próximo, com um valor de 7,50. O CF<sub>2</sub> e o CF<sub>7</sub> mostraram um valor mais elevado de pH, respectivamente, de 8,04 e 8,58.

Os valores de azoto total não variaram de forma significativa ( $\alpha=0,05$ ) para os compostos CF<sub>2</sub> e CF<sub>7</sub>, assim como os valores de azoto nítrico para os compostos CF<sub>7</sub> e CF<sub>9</sub>. Já os valores de azoto amoniacal variaram significativamente ( $\alpha=0,05$ ) entre os compostos, o CF<sub>9</sub> apresentou o valor mais elevado, seguido do CF<sub>2</sub> e por último o CF<sub>7</sub> que tem o valor mais baixo de apenas 1,05 mg Kg<sup>-1</sup> m.s., mas foi este o composto que apresentou o valor de azoto nítrico mais elevado o que poderá indicar ter ocorrido o processo de nitrificação.

A relação C/N é mais elevada no CF<sub>2</sub>, embora não diferindo significativamente do valor observado para o composto CF<sub>7</sub>, sendo coerente com o facto de este composto ter o valor mais baixo de azoto total e o valor mais elevado de carbono orgânico total. O CF<sub>7</sub> tem o valor intermédio de relação C/N e o CF<sub>9</sub> apresentou o valor mais baixo para esse mesmo parâmetro.

Os valores da condutividade eléctrica, variaram significativamente ( $\alpha=0,05$ ) para os três compostos, o CF<sub>2</sub> apresenta o valor mais elevado, seguido pelo CF<sub>7</sub> e por último o CF<sub>9</sub> com o valor mais baixo.

No que respeita aos resultados para o teste de auto-aquecimento dos compostos, verificou-se que o CF<sub>2</sub> apresentou a temperatura mais elevada, acima dos 30 °C, pertencendo à Classe IV de Estabilidade. Os compostos CF<sub>7</sub> e o CF<sub>9</sub> apresentaram uma temperatura abaixo dos 30 °C, pertencendo assim à Classe de Estabilidade mais elevada, a Classe V.

A actividade respiratória ao fim de 4 dias (AT<sub>4</sub>) apresentou valores que não variaram significativamente ( $\alpha=0,05$ ) para os compostos CF<sub>7</sub> e CF<sub>9</sub>. Foi o composto CF<sub>2</sub> que apresentou o valor mais elevado para o AT<sub>4</sub> superior a 10 mg O<sub>2</sub> g<sup>-1</sup> m.s., valor que está de acordo com o verificado para o teste de auto-aquecimento.

O 2<sup>nd</sup> Draft menciona que o limite da actividade respiratória ao fim de 4 dias (AT4) seja inferior a 10 mgO<sub>2</sub> g<sup>-1</sup> de matéria seca para que um resíduo possa ser considerado que já não é mais biodegradável estando assim estabilizado, de acordo com a definição apresentada no Artigo 2 (m) da Directiva 1999/31/EC.

Nos três compostos, o CF<sub>2</sub> está um pouco acima desse limite o que indica que ainda precisa de mais tempo até ficar completamente estabilizado. O CF<sub>7</sub> e o CF<sub>9</sub> já se encontram abaixo do valor indicado.

No que se refere aos elementos minerais e à concentração em microrganismos patogénicos, não foi possível realizar a análise dos mesmos nos três compostos (CF<sub>2</sub>, CF<sub>7</sub> e CF<sub>9</sub>). No quadro 4.3 faz-se referência à caracterização química e microbiológica das últimas análises que a Algar efectuou ao seu composto, em Maio de 2010, de forma a se ter uma ideia dos teores presentes no referido composto.

**Quadro 4.3.** Caracterização química e microbiológica de um composto analisado pela Algar.

<b>Caracterização química e microbiológica</b>	<b>Composto da Algar</b>
<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (% m.s.)</b>	0,85
<b>K<sub>2</sub>O (% m.s.)</b>	1,04
<b>CaO (% m.s.)</b>	18,91
<b>MgO (% m.s.)</b>	1,36
<b>Zn (mg kg<sup>-1</sup> m.s.)</b>	66
<b>Cu (mg kg<sup>-1</sup> m.s.)</b>	19
<b>Mn (mg kg<sup>-1</sup> m.s.)</b>	169
<b>Cd (mg kg<sup>-1</sup> m.s.)</b>	0,13
<b>Pb (mg kg<sup>-1</sup> m.s.)</b>	6,6
<b>Cr (mg kg<sup>-1</sup> m.s.)</b>	12
<b>Hg (mg kg<sup>-1</sup> m.s.)</b>	0,05
<b>Ni (mg kg<sup>-1</sup> m.s.)</b>	4,6
<b>Salmonella spp.</b>	Ausência em 25 g
<b>Escherichia coli (NMP/g)</b>	0

Segundo o Quadro I da proposta para as Especificações técnicas sobre qualidade e utilizações do composto e pela observação do quadro 4.3, este composto seria classificado como Classe I. No Quadro I do Anexo IV encontram-se os valores limites de Cádmio (Cd), Chumbo (Pb), Cobre (Cu), Crómio (Cr), Mercúrio (Hg), Níquel (Ni) e Zinco (Zn) de cada classe de composto, assim como os valores máximos admissíveis relativos à concentração em microrganismos patogénicos.

No quadro 4.4 seguinte é feita a comparação da granulometria e do teor de pedras e de material inerte presentes nos três compostos em estudo - CF<sub>2</sub>, CF<sub>7</sub> e CF<sub>9</sub>.

**Quadro 4.4.** Granulometria e teor de pedras e inertes para os compostos CF<sub>2</sub>, CF<sub>7</sub> e CF<sub>9</sub>.

<b>Granulometria e teor de pedras e inertes</b>	<b>CF<sub>2</sub></b>	<b>CF<sub>7</sub></b>	<b>CF<sub>9</sub></b>
<b>&gt;20 mm</b>	0	0	0
<b>&lt;20 mm e &gt;10 mm</b>	0	0	0
<b>&lt;10 mm e &gt;5 mm</b>	6,4	5,1	7,0
<b>&lt;5 mm e &gt;2 mm</b>	17,2	16,9	21,8
<b>&lt;2 mm e &gt;1 mm</b>	16,1	17,8	21,1
<b>&lt;1 mm</b>	60,3	60,2	50,1
<b>Pedras (&gt;20 mm até &gt;5 mm)</b>	3,1	2,2	2,8
<b>Material inerte (&gt;20 mm até &gt;2 mm)</b>	0,09	0,09	0,02

\*Inclui vidro, metais e plásticos

A partir dos resultados apresentados no quadro 4.4 verifica-se que a granulometria e o teor de pedras e inertes não diferem muito entre os compostos. O CF<sub>2</sub> e o CF<sub>7</sub> têm os valores mais próximos nas várias fracções relativamente ao CF<sub>9</sub>. No teor de pedras o CF<sub>2</sub> tem o valor mais próximo ao do CF<sub>9</sub>.

De acordo com a proposta das Especificações técnicas, em relação à granulometria, 99% do material deverá passar por um crivo (de malha quadrada) de 25 mm. Nestes compostos foi efectuada uma crivagem, em que o crivo tinha uma malha de 15 mm, assim, e como se pode verificar no quadro 4.4, os compostos têm a maioria do material com uma granulometria inferior a 10 mm.

Os compostos CF<sub>2</sub>, CF<sub>7</sub> e CF<sub>9</sub> continuam a estar inseridos na classificação como sendo compostos de Classe I, tendo em conta o teor de pedras e de material inerte e o Quadro I (Anexo IV) da proposta das Especificações técnicas.

Tal como referido anteriormente, um dos objectivos deste trabalho foi a determinação do Índice de Germinação (IG) com sementes de Agrião, Alface e Tomate, utilizando os extractos aquosos que foram obtidos através do método proposto por Zucconi *et al.* (1981 e 1985). A outra parte do trabalho consistiu na determinação do Índice de Crescimento (IC), utilizando as mesmas espécies em substratos preparados com os três compostos.

No quadro 4.5 são apresentados os valores para o Índice de Germinação obtidos para as espécies Agrião, Alface e Tomate com os extractos preparados com cada um dos

compostos em estudo, em que as espécies tiveram um tempo de germinação de 24 horas e 48 horas para o caso do Agrião, de 5 dias no caso do Tomate e de 6 dias para a Alface.

**Quadro 4.5.** Índice de Germinação (IG) para as espécies Agrião, Alface e Tomate, com os extractos dos compostos CF<sub>2</sub>, CF<sub>7</sub> e CF<sub>9</sub>.

Espécies	Índice de Germinação (%)		
	CF <sub>2</sub>	CF <sub>7</sub>	CF <sub>9</sub>
<b>Agrião (24 horas)</b>	92,23 <b>a*</b>	96,97 <b>a</b>	103,28 <b>a</b>
<b>Agrião (48 horas)</b>	104,93 <b>a</b>	111,48 <b>a</b>	135,41 <b>b</b>
<b>Alface (6 dias)</b>	31,29 <b>b</b>	72,30 <b>a</b>	80,58 <b>a</b>
<b>Tomate (5 dias)</b>	57,05 <b>a</b>	62,88 <b>a</b>	70,53 <b>a</b>

\* As médias assinaladas com a mesma letra para a mesma espécie, não apresentam diferenças significativas entre si para  $\alpha=0,05$ .

No quadro 4.5 verifica-se que os valores do Índice de Germinação (IG) do Agrião, tanto no ensaio às 24 horas como no ensaio às 48 horas, não variaram significativamente ( $\alpha=0,05$ ) nos três compostos, com excepção do composto CF<sub>9</sub> para o qual se observou o valor significativamente mais elevado do IG no ensaio com tempo de germinação de 48 horas.

No ensaio com a espécie Tomate, os valores de IG não variaram significativamente ( $\alpha=0,05$ ) para os três compostos, assim como para os compostos CF<sub>7</sub> e CF<sub>9</sub> para a espécie alface, para a qual se observou o valor mais baixo de IG.

De acordo com Pera *et al.* (1991) se a percentagem do Índice de germinação para o *Lepidium sativum* L.(Agrião), face ao ensaio em branco for superior a 60%, o composto é considerado não fitotóxico.

Nos ensaios com Agrião observaram-se valores bastante elevados, no caso do ensaio com 24 horas o IG foi superior a 90% e no ensaio de 48 horas foi superior a 100%. Esta diferença de percentagens no IG entre as espécies também pode indicar que a Alface e o Tomate serão espécies mais sensíveis.

Para todos os compostos o IG com a espécie Agrião foi superior a 60% às 24 horas, o que indica que não apresentam características de fitotoxicidade.

No quadro 4.6 são apresentados os resultados obtidos para o Índice de Crescimento (IC) com os três compostos em estudo. Os ensaios tiveram a duração de 14 dias após a germinação de pelo menos 50% das sementes testemunha, do Agrião, Alface e Tomate.

No Anexo V encontram-se todos os resultados da avaliação do peso fresco e do peso seco do ensaio do IC.

**Quadro 4.6.** Índice de Crescimento (IC) para as espécies Agrião, Alface e Tomate, com os compostos CF<sub>2</sub>, CF<sub>7</sub> e CF<sub>9</sub>.

Espécies	Índice de Crescimento (%)		
	CF <sub>2</sub>	CF <sub>7</sub>	CF <sub>9</sub>
<b>Agrião</b>	66,64 a*	73,91 a	77,79 a
<b>Alface</b>	74,51 a	107,52 a	124,03 a
<b>Tomate</b>	103,51 b	133,58 a	139,00 a

\* As médias assinaladas com a mesma letra para a mesma espécie, não apresentam diferenças significativas entre si para  $\alpha=0,05$ .

De acordo com o CCME (1996) o IC para a espécie Agrião deve ser superior a 50% para que um composto possa ser considerado maturado. Dos resultados do quadro 4.6 verifica-se que para todos os compostos, as espécies obtiveram um IC superior a esse limite (Figura 4.4).



**Figura 4.4.** Aspecto geral do ensaio de crescimento, com as espécies Alface, Agrião e Tomate.

Nos ensaios com o composto CF<sub>2</sub> foram os únicos que deram origem a colónias de *Coprinus comatus* surgidos na segunda metade do tempo do ensaio (Figura 4.5) o que não ocorreu com os outros dois compostos.



**Figura 4.5.** Aspecto de colónias de *Coprinus comatus* observadas nos ensaios de crescimento com o composto

Da observação do mesmo quadro 4.6 verifica-se que o composto CF<sub>9</sub> foi o que apresentou valores mais elevados para todas as espécies e o CF<sub>2</sub> foi o composto para o qual se observaram valores mais baixos, embora significativamente inferior aos outros no caso do Tomate.

Em termos de espécies, os valores de IC foram sempre superiores para a espécie Tomate, enquanto os mais baixos foram observados para a espécie Agrião.

De uma forma geral, o Tomate foi a espécie que melhor se desenvolveu na presença dos compostos, dando origem a plantas com um aspecto mais forte e resistente relativamente ao Agrião e à Alface.

Embora o ensaio ter sido realizado na câmara de vegetação este não se encontrava mesmo debaixo da área de iluminação directa, podendo as plantas não se terem desenvolvido como deveriam e também fez com que o Tomate apresentasse as plantas estioladas (Figura 4.6).





**Figura 4.6.** Aspecto do ensaio de crescimento com o Tomate.

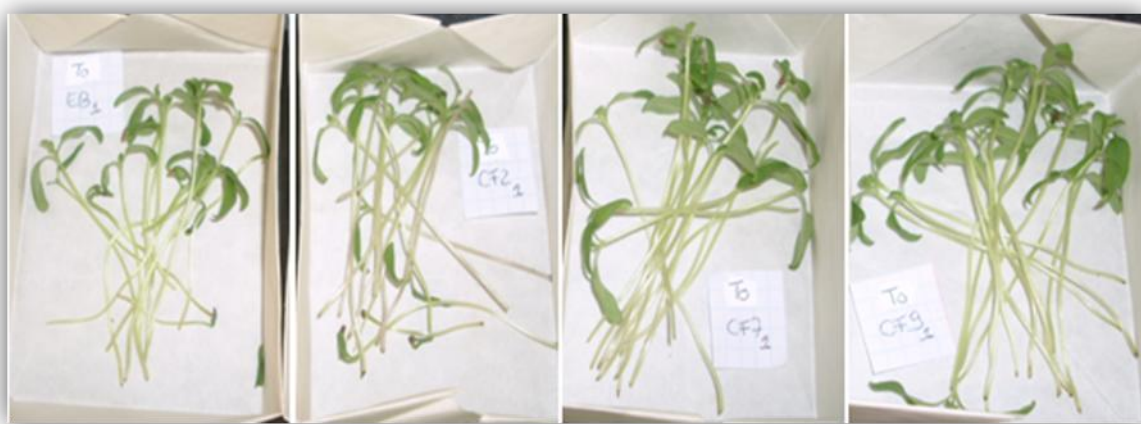
Durante os ensaios para a determinação do IC houve ensaios em branco (EB) do Agrião e da Alface em que as plantas se soltaram do substrato acabando por secar, o mesmo não aconteceu com os ensaios que tinham o substrato preparado com os compostos, o que evidencia o facto de o composto ajudar a melhorar a estrutura do solo, e consequentemente, a fixação das plantas no mesmo (Figura 4.7). De uma forma geral, os valores das percentagens do IC não variaram significativamente ( $\alpha=0,05$ ) para os diferentes compostos estudados.



**Figura 4.7.** Diferenças estruturais entre as espécies e aspecto dos EB da Alface e do Agrião.

Quando comparados os resultados dos testes de germinação e de crescimento para as espécies ensaiadas, Agrião, Alface e Tomate verifica-se que são opostos, i.e., a espécie mais sensível no teste de germinação foi o Tomate (apresentou os valores mais baixos para o IG) mas no caso do teste de Crescimento foi a que apresentou valores mais elevados para o IC e oposto para o Agrião. Pelo que nos leva a concluir que os dois testes são importantes pois permitem ter uma ideia acerca do efeito da aplicação/utilização do composto em diferentes fases vegetativas da planta.

A Figura 4.8 mostra a preparação das plantas obtidas no ensaio de crescimento de forma a avaliar os respectivos pesos secos para posteriormente se efectuar a determinação do Índice de Crescimento.



**Figura 4.8.** Preparação das plantas obtidas no ensaio de crescimento para avaliação dos pesos secos e posterior determinação do Índice de Crescimento.



## 5. CONCLUSÕES

A apreciação global deste trabalho permite afirmar que em termos ambientais, os benefícios da compostagem resultam do facto de proporcionar uma crescente diminuição do confinamento dos resíduos orgânicos biodegradáveis em aterro, prevenindo-se assim impactes ambientais negativos.

Através da Estação de Compostagem do Barlavento, a ALGAR S.A. contribui para o cumprimento da Directiva 1999/31/EC, de 26 de Abril, e do Decreto-lei n.º 152/2002, de 23 de Maio, que estabelecem restrições à deposição em aterro do tipo de resíduos acima referidos, e neste caso específico dos Resíduos Verdes.

Tendo em conta que a pilha de compostagem, que foi acompanhada desde o primeiro dia, a Pilha 2, tinha um peso inicial de 216,6 toneladas, no final do processo passou a ter um peso de 146 toneladas, e depois de efectuada a crivagem obteve-se 110 toneladas de composto Nutriverde (CF<sub>2</sub>); do refugo que foi separado do composto, ainda se voltou a realizar nova crivagem de onde se obteve 9,35 toneladas de Nutriverde Décor, sobrando 25,7 toneladas de refugo, que vai ser depositado no Aterro, conclui-se portanto, que em vez de ter ido para aterro 216,6 toneladas de Resíduos Verdes foram apenas cerca de 12% desse total, tendo sido o resto valorizado.

A evolução das temperaturas médias das pilhas mostram que no início do processo de compostagem, este já se encontrava na fase termófila, devido ao tempo que o material esteve em espera antes de serem montadas as pilhas, visto o parque onde se processa a compostagem ser ao ar livre e por isso sujeito às condições meteorológicas.

No Inverno de 2009/2010 a precipitação ocorrida na região no Algarve foi em quantidade excepcional, assim as pilhas anteriores demoraram mais tempo a terminarem o processo. Não sendo assim possível retirar umas pilhas e montar outras, faz com que o material que está amontoado à espera de ser colocado no parque inicie a compostagem na zona de armazenamento.

Dos parâmetros analisados nas quatro amostras recolhidas, na pilha de compostagem que foi acompanhada do início até ao fim, a Pilha 2, estes não variaram de forma significativa, embora o azoto amoniacal tenha sofrido uma diminuição brusca na terceira amostra (T<sub>44</sub>) indicando a ocorrência da sua perda por volatilização.

O valor de pH, mais especificamente o valor da última amostra (T<sub>65</sub>), encontrava-se elevado, devendo este se encontrar próximo da neutralidade.

O valor do teor de humidade da última amostra ( $T_{65}$ ) também se encontra elevado para um material que vai ser crivado para obtenção do composto, podendo ter sido mais baixo se durante o processo de compostagem houvesse um controlo efectuado à humidade com um aparelho específico para o efeito.

Da observação dos resultados obtidos para os parâmetros analisados nos três compostos finais – CF<sub>2</sub>, CF<sub>7</sub> e CF<sub>9</sub> – e tendo em conta as Especificações técnicas sobre qualidade e utilizações do composto, os três compostos têm um teor de humidade superior ao limite (inferior a 40%). O limite mínimo requerido para o teor de matéria orgânica é 30%, sendo que os três compostos apresentaram teores de matéria orgânica superiores a 30%. Em relação ao pH, cujo limite deverá estar entre 5,5 e 8,5, o composto CF<sub>7</sub> foi dos três que ultrapassou esse limite.

Pelo teste de auto-aquecimento, os três compostos estão classificados de acordo com a Classe de Estabilidade, como compostos maturados, sendo o composto CF<sub>2</sub> de Classe IV e o CF<sub>7</sub> e CF<sub>9</sub> de Classe V. O teste de actividade respiratória ao fim de 4 dias (AT<sub>4</sub>) indicou que os compostos CF<sub>7</sub> e CF<sub>9</sub> são considerados estáveis por apresentarem um valor de AT<sub>4</sub> inferior a 10 mg O<sub>2</sub> g<sup>-1</sup> de matéria seca. No caso do composto CF<sub>2</sub> o valor encontrado é ligeiramente superior a 10 mg O<sub>2</sub> g<sup>-1</sup> de matéria seca e está de acordo com a classe verificada pelo teste do auto-aquecimento.

Como não foi possível realizar as análises aos elementos minerais nos três compostos, observaram-se os valores de um composto analisado pela Algar em Maio de 2010, partindo do pressuposto que os valores seriam semelhantes. Portanto, tendo em conta as Especificações técnicas, os compostos seriam considerados de Classe I, quer em termos de valores de elementos minerais como em relação ao teor em pedras e de material inerte.

Os valores do Índice de Germinação (IG) para os três compostos em estudo e com as espécies Agrião, Alface e Tomate, mostrou que foi com o CF<sub>2</sub> que se observaram valores mais baixos para as espécies Alface e Tomate embora apenas diferindo significativamente no caso do IG obtido com a Alface; contudo, para a espécie Agrião o valor do IG foi superior a 60%, sendo este o valor mínimo para que um composto não seja considerado fitotóxico. Todos os compostos estudados apresentaram valores de IG superiores a 60% para a espécie Agrião, e portanto não apresentam características fitotóxicas.

A avaliação do Índice de Crescimento (IC) utilizando substratos preparados com os compostos CF<sub>2</sub>, CF<sub>7</sub> e CF<sub>9</sub> e com as sementes de Agrião, Alface e Tomate, indicou que todas as espécies obtiveram um IC superior ao limite proposto de 50%, embora este

limite seja indicado para o Agrião. O composto CF<sub>9</sub> foi o que obteve para todas as espécies os valores mais elevados de IC. O tomate apresentou maior sensibilidade na germinação (IG menores) mas maiores valores de IC.

Os resultados obtidos parecem indicar que seria necessário mais tempo de maturação para o composto CF<sub>2</sub>, pois foi este que, de uma forma geral, apresentou menor estabilidade do que os outros compostos estudados.

Ao concluirmos este trabalho, consideramos que foram alcançados os objectivos propostos, no entanto, existem aspectos que podem ser objecto de futuros estudos, nomeadamente:

- ❖ A optimização de parâmetros do processo de compostagem, como o teor de humidade, através de um controlo eficaz utilizando um aparelho específico para o efeito, e o controlo da temperatura em mais pontos da pilha, para se obter uma temperatura média da pilha mais exacta. Assim, a optimização destes parâmetros dão origem a uma eficaz gestão dos revolvimentos e adições de água às pilhas e consequentemente, superior qualidade dos produtos finais.
- ❖ Realização de ensaios de germinação com um maior número de espécies diferentes, para que as conclusões sobre a qualidade dos compostos seja mais precisa assim como saber quais as espécies mais sensíveis e quais as mais resistentes.
- ❖ Realização de ensaios de crescimento com um maior número de espécies diferentes e deixar que estas cheguem a fase de floração e frutificação (por exemplo, o Tomate), para se avaliar a qualidade do fruto obtido. Também seria interessante alargar estes ensaios a árvores de fruto.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADANI, F. (2002) Compost quality: an Italian Approach. In: *Composting and Compost Utilization, 2002 International Symposium*. Ohio, USA (cit. Gonçalves, 2002).

Anónimo (2008) Especificações Técnicas sobre Qualidade e Utilizações do Composto, 19 pp.

BARY, A.I., COGGER, C.G., SULLIVAN, D.M., MYHRE, E.A. (2005) Characterization of fresh yard trimmings for agricultural use. *Bioresource Technology* **96**:1499–1504 (cit. Boldrin e Christensen, 2010).

BATISTA, J.G.F., BATISTA, E.R.B. (2007) *Compostagem – Utilização em horticultura*. Universidade dos Açores, Angra do Heroísmo, Açores, 252 pp.

BECKETT, P.H.T., DAVIS, R.D. (1977) Upper critical levels of toxic elements in plants. *New Phytol.*, **79**: 95-106 (cit. Cunha Queda, 1999).

BELYAEVA, O.N., HAYNES, R.J. (2009) Chemical, microbial and physical properties of manufactured soils produced by co-composting municipal green waste with coal fly ash. *Bioresource Technology* **100**:5203-5209.

BENITO, M., MASAGUER, A., ANTONIO, R., MOLINER, A. (2005) Blending green feedstocks at a Madrid composting facility. *Biocycle* 46, 72–74 (cit. Boldrin e Christensen, 2010).

BOLDRIN, A., CHRISTENSEN, T.H. (2010) Seasonal generation and composition of garden waste in Aarhus (Denmark). *Waste Management* **30**:551-557.

BRITO, L.M.C.M. (2005) *Manual de Compostagem*. Escola Superior Agrária de Ponte de Lima, Instituto Superior de Viana do Castelo. (<http://www.ci.esapl.pt/mbrito/compostagem>).

BUCHANAN, M., BRINTON, W., SHIELDS, F., WEST, J., THOMPSON, W., COTTON, M. (2002) The CCQC Compost Maturity Index. In: *Composting and compost utilization, 2002 International Symposium*. Ohio, USA (cit. Gonçalves, 2002).

CAN/BNQ (1996 modificado em 1997). Organic Soil Conditioners – Compost. CAN/BNQ 0413-200, secção **9.3.3**: 12-14 (*cit.* Gomes, 2003).

CCME (Canadian Council of the Ministers of the Environment) (1996) *Guidelines for compost quality*. Minister of Public Works and Government Services Canada, cat. Nº EN 108-3/1-106E, 11pp (*cit.* Gomes, 2003).

CHEN, Y., AVIAD, T. (1990) Effect of humic substances on plant growth. In: MacCarty, p., Clapp, C.E., Bloom, R.L. (Eds.). Humic substances in soil and crop sciences. Selected Readings. Proceedings of a symposium cosponsored by the International Humic Substances Society. Chicago, IL, pp: 161-186 (*cit.* Gonçalves, 2002).

CHROMETZA, P. (1968) Determination de la consommation d'oxigène des composts en voie de maturation. *Bull. Inf. GIROM.*, **33**:253-256 (*cit.* Cunha Queda, 1999).

CUNHA QUEDA, A.C.F. (1999) *Dinâmica do azoto durante a compostagem de materiais biológicos putrescíveis*. Dissertação para obtenção do grau de Doutor em Engenharia Agro-Industrial. Universidade Técnica de Lisboa. Instituto Superior de Agronomia. Lisboa. 257 pp.

CUNHA QUEDA, A.C. VALLINI, G., AGNOLUCCI, M., COELHO, C.A., CAMPOS, L., SOUSA, R.B. (2002) Microbiological and chemical characterisation of composts at different levels of maturity, with evaluation of phytotoxicity and enzymatic activities. **In**: *Microbiology of Composting*, Ed. Insam, H., Riddech, N., Klammer, S., Springer-Verlag, Berlim. pp: 345-355 (*cit.* Gonçalves, 2002).

DAVIS, R.D., BECKETT, P.H.T., WOLLAN, E. (1977) Critical levels of twenty potentially toxic elements in young spring barley. *Plant Soil*, **49**:395-408. (*cit.* Cunha Queda, 1999).

DE BERTOLDI, M., VALLINI, G., PERA, A., ZUCCONI, F. (1985) Technological aspects of composting including modeling and microbiology. **In**: *Composting of agricultural and other wastes. Comission of the European Communities*. Oxford, 19-20 March. Ed. Gasser, J.K.R., Elsevier Applied Science Publishers, Essex, 1985: 27-38 (*cit.* Cunha Queda, 1999).

DG ENV. A.2. (2001) Biological treatment of biowaste, 2<sup>nd</sup> Draft of biological treatment – Working document.

([http://europa.eu.int/comm/environment/waste/facts\\_en.htm](http://europa.eu.int/comm/environment/waste/facts_en.htm))

Diário da República. Decreto-Lei n.º 152/2002 de 23 de Maio.  
(<http://www.dre.pt/pdf1s/2002/05/119A00/46804699.pdf>).

DICK, W.A., McCOY, E.L. (1993) Enhancing soil fertility by addition of compost. In: Science and engineering of composting: design, environmental. Microbiological and utilization aspects. Ed. Hoitink, H.A.J. e Keener, H.M., Renaissance Publications, Worthington: 622-644 (*cit.* Cunha Queda, 1999).

Directiva 1999/31/CE do Conselho de 26 de Abril de 1999 relativa à deposição de resíduos em aterro.

(<http://eurlex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:1999:182:0001:0019:PT:PDF>)

EUROSTAT (2005) Waste Generated and Treated in Europe: Data 1995–2003, Eurostat, Luxembourg (*cit.* Boldrin e Christensen, 2010).

FERNANDES, P.A.L. (1999) *Estudo Comparativo e Avaliação de Diferentes Sistemas de Compostagem de Resíduos Sólidos Urbanos*. Dissertação para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil. Universidade de Coimbra, Coimbra, 113 pp.

FROST, D.I., TOTH, B.L., HOITINK, H.A.J. (1992) Compost stability. *Biocycle*, **32**(11): 62-66 (*cit.* Cunha Queda, 1999).

GOLUEKE, C.G. (1981) Principles of biological resource recovery. *BioCycle*, **22**(4): 36-40 (*cit.* Cunha Queda, 1999).

GOMES, M.M.E.S. (2003) *Avaliação da qualidade de produtos provenientes da compostagem da fracção orgânica de resíduos sólidos urbanos através de testes biológicos*. Relatório do trabalho de fim de curso de Engenharia Agronómica, Universidade Técnica de Lisboa, Instituto Superior de Agronomia, Lisboa, 78 pp.

GONÇALVES, A.M.A. (2002) *Estudo comparativo de diferentes metodologias para avaliação da fitotoxicidade em produtos obtidos a partir de compostagem*. Relatório do trabalho de fim de curso de Engenharia Agronómica, Universidade Técnica de Lisboa, Instituto Superior de Agronomia, Lisboa, 63 pp.

GOTAAS, H.B. (1956) *Composting Sanitary Disposal and Reclamation of Organic Wastes*, OMS, Monografia nº31, Genebra, Suíça (cit. Fernandes, 1999).

GOTAAS, H.B. (1959) *Compostage et assainissement*. Organization Mondiale de la Santé. Genève, pp. 13-34 (cit. Santos, 2001).

HAM, R.K., KOMILIS, D.P. (2003) A Laboratory Study to Investigate Gaseous Emissions and Solids Decomposition During Composting of Municipal Solid Wastes. EPA-600/R-03/004. US Environmental Protection Agency, Washington, DC, USA. (<http://www.epa.gov/nrmrl/pubs/600r03004/600r03004.pdf>) (cit. Boldrin e Christensen, 2010).

HAUG, R.T. (1980) *Compost engineering: principles and practice*. Technomic Publishing Company, Inc., Lancaster (cit. Cunha Queda, 1999).

HE, X.T., TRAINA, S.J., LOGAN, T.J. (1992) Chemical properties of municipal solid waste compost. *J. Environ. Qual.*, 21: 318-329 (cit. Cunha Queda, 1999).

HUGHES, E.G. (1980) *The Composting of Municipal Wastes* – in Handbook of Organic Waste Conversion, Edit. Michael WM Bewick, Van Nostrand Reinhold, Env. Engrs. Series (cit. Fernandes, 1999).

IANNOTTI, D.A., PANG, T., TOTH, B.L., ELWELL, D.L., KEENER, H.M., HOITINK, H.A.J. (1993) A quantitative respirometric method for monitoring compost stability. *Compost Sci. Util.*, 1(3):52-65 (cit. Cunha Queda, 1999).

INBAR, Y., CHEN, Y., HADAR, Y., HOITINK, H.A.J. (1990) New approaches to compost maturity. *Biocycle*, December: 64-69 (cit. Cunha Queda, 1999).

JODICE, R. (1989). Parametri chimici e biologici per la valutazione della qualità del compost. **In:** *Proceedings of the Compost Production and Use – International Symposium*, S. Michelle all'Adige, 20-23 June: 363-384 (cit. Gomes, 2003).

LAGA – MERKBLATT M 10 (1995) Qualitätskriterien und Anwendungsempfehlungen für Kompost. Müll-Handbuch Lfg. 5/95, Kennziffer 6856, Ed. Erich Schmidt Verlag, Berlin (cit. Cunha Queda, 1999).

LOPÉZ-REAL, J. (1995) *Parámetros de control del compostaje y aplicación del compostaje de residuos orgánicos*. In *Gestión y Utilización de Residuos Urbanos para la Agricultura*, Fundación "La Caixa" , Ed. Aedos, 61-67 (*cit. Gomes, 2003*).

MERKEL (1981) Composting In: *Managing livestock wastes*. Ed. por AVI.: 306-322 (*cit. Cunha Queda, 1999*).

MILLER, F.C. (1993) Minimizing odor generation during composting. In: *Science and engineering of composting. design, environmental, microbiological and utilization aspects*. Ed. Hoitink, H.A.J. e Keener, H.M., Renaissance Publications, Worthington: 219-241 (*cit. Cunha Queda, 1999*).

MUSTIN, M. (1987). *Le compost Gestion de la matière organique*. Édition François Dubusc, 954 pp (*cit. Santos, 2001, cit. Cunha Queda, 1999*).

NETO, J.T.P., STENTIFORD, E.I., MARA, D.D. (1987). Comparative survival of pathogenic indicators in windrow and static pile. In: *Compost: production, quality and use*. Ed. De Bertoldi, M., Ferrenti, M.P., L'Hermite, P., Zucconi, F., Elsevier Applied Science Publishers Ltd., Essex: 276-295 *cit. Cunha Queda, 1999*).

PERA, A., VALLINI, G., FRASSINETTI, S. & CECCHI, F. (1991). Co-composting for managing effluent from thermophilic anaerobic digestion of municipal solid waste. *Environmental Technology*, **12**: 1137-1145 (*cit. Gomes, 2003*).

PEREIRA NETO, J. T. (1987) – *A Low Cost Technology Approach on the Treatment of Municipal Refuse and Sewage Sludge Using Aerated Static Pile Composting* – Tese de Doutorado, Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Leeds, Inglaterra (*cit. Fernandes, 1999*).

RAVIV, M., TARRE, S., GELER, Z., SHELEF, G. (1987). Changes in some physical and chemical properties of fibrous solids from cow manure and digested cow manure during composting. *Biol. Wastes*, **19**: 309-318 (*cit. Cunha Queda, 1999*).

RUSSO, M.A.T. (2004). *Introdução à compostagem de resíduos sólidos*. Escola Superior de tecnologia e Gestão, Instituto Superior Politécnico de Viana do Castelo, 81 pp.



SANTOS, L.M.C. (2001) *Resíduos com interesse agrícola – Evolução de parâmetros da sua compostagem*. Série Estudos, Edição do Instituto Politécnico de Bragança, 146 pp.

SCHULTZ, K.L. (1961). Relationship between moisture content and activity of finished compost. *Compost Sci.*, **2**(2): 32-34 (*cit. Cunha Queda, 1999*).

VALLINI, G. (1995a). Compost. **In:** *Dizionario dell'ambiente*, Ed. Gamba, G., Martignetti, G., ISEDI, UTET Libreria, Torino: 173-174 (*cit. Cunha Queda, 1999*).

VALLINI, G. (1995b). Il Compostaggio. **In:** *La protezione dell'ambiente in Italia*. Ed. Bertini, I., Cipollini, R., Tundo, P. Consiglio Nazionale delle Ricerche, Società Chimica Italiana e Consorzio Interuniversitario Chimica per l'Ambiente. Bologna: 83-134 pp (*cit. Cunha Queda, 1999*).

WAKSMAN, S.A. (1938) – *Humus: Origin, Chemical Composition and Importance in Nature*, Williams & Wilkins Co., Baltimore (*cit. Fernandes, 1999*).

WAKSMAN, S.A., STARKEY, R.L. (1924) – *Influence of Organic Matter upon the Development of Fungi, Actinomycetes and Bacteria in the Soil*, Soil Science, Vol. 17 (*cit. Fernandes, 1999*).

WAKSMAN, S.A., SKINNER, C.E. (1926) – *Microorganisms Concerned in the Decomposition of Cellulose in the Soil*, Jour. Bact. Vol 12 (*cit. Fernandes, 1999*).

WAKSMAN, S.A., STARKEY, R.L. (1931) – *The Decomposition of Proteins by Microorganisms with Particular Reference to Purified Vegetable Proteins*, Jour. Bact. Vol 23 (*cit. Fernandes, 1999*).

WAKSMAN, S.A., UMBREIT, W.W., CORDON, T.C. (1939) – *Influence of Temperature upon the Microbial Population and Decomposition Process in Composts of Stable Manure*, Soil Science, Vol. 47 (*cit. Fernandes, 1999*).

WALKER, J.M. (1993). Composting odor. **In:** *Science and engineering of composting: design, environmental, microbiological and utilization aspects*. Ed. Hoitink, A.A.J., Keener, H.M., Renaissance Publications, Worthington: 185-218 (*cit. Cunha Queda, 1999*).

WILLIAMS, P.T. (2005) Waste Treatment and Disposal. John Wiley and Sons Ltd., Chichester, UK (*cit.* Boldrin e Christensen, 2010).

WARD, C., LITTERICK, A., STEPHEN, N. (2005) Assessment of the Potential for Site and Seasonal Variation of Composted Material Across the UK. WRAP, Banbury, UK (*cit.* Boldrin e Christensen, 2010).

ZUCCONI, F., DE BERTOLDI, M. (1987). Compost specifications for the production and characterization of compost from municipal solid waste. **In:** *Compost: production, quality and use*. Ed. De Bertoldi, M., Ferranti, M.P., L'Hermite, P., Zucconi, F., Elsevier Applied Science Publishers Ltd., Essex: 30-50 (*cit.* Cunha Queda, 1999).

ZUCCONI, F., MONACO, A., FORTE, M. (1985). Phytotoxins during the stabilization of organic matter. **In:** *Composting of agricultural and other wastes*. Ed. Gasser, J.K.R., Elsevier, New York: 73-88 (*cit.* Gonçalves, 2002).

ZUCCONI, F., PERA, A., FORTE, M. & DE BERTOLDI, M. (1981). Evaluation toxicity of immature compost. *Biocycle* **22**: 54-57 (*cit.* Cunha Queda, 1999 e *cit.* Gonçalves, 2002).

**ANEXOS**

## ANEXO I

**Quadro I.1.** Boletim de controlo das operações efectuadas na Pilha 2.

Data	Dia	T1	T2	Tmédia pilha	S	Observações
22/04/10	1	68	66	67	1ª	Construção da Pilha e Revolvimento
23/04/10	2	67	68	68	1ª	<b>Recolha amostra T- 2 dias</b>
24/04/10	3	72	73	73	1ª	-
26/04/10	5	73	72	73	1ª	-
27/04/10	6	74	71	73	1ª	Revolvimento
28/04/10	7	69	70	70	1ª	-
29/04/10	8	71	72	72	2ª	-
30/04/10	9	73	71	72	2ª	-
03/05/10	12	65	66	66	2ª	-
04/05/10	13	64	64	64	2ª	-
05/05/10	14	65	64	65	2ª	-
06/05/10	15	64	64	64	3ª	-
07/05/10	16	65	64	65	3ª	-
08/05/10	17	66	64	65	3ª	-
10/05/10	19	61	63	62	3ª	-
11/05/10	20	61	60	61	3ª	-
12/05/10	21	54	56	55	3ª	-
13/05/10	22	66	66	66	4ª	-
14/05/10	23	68	70	69	4ª	<b>Recolha amostra T – 23 dias</b>
15/05/10	24	70	70	70	4ª	-
17/05/10	26	72	69	71	4ª	-
18/05/10	27	70	68	69	4ª	Revolvimento e Rega
19/05/10	28	61	61	61	4ª	-
20/05/10	29	71	72	72	5ª	-
21/05/10	30	73	73	73	5ª	-
24/05/10	33	68	71	70	5ª	Revolvimento e Rega
25/05/10	34	60	60	60	5ª	-
26/05/10	35	71	70	71	5ª	-
27/05/10	36	73	72	73	6ª	-
28/05/10	37	72	74	73	6ª	Revolvimento
31/05/10	40	73	69	71	6ª	Revolvimento
01/06/10	41	56	61	59	6ª	-
02/06/10	42	68	69	69	6ª	-
03/06/10	43	69	71	70	7ª	-
04/06/10	44	71	72	72	7ª	<b>Recolha amostra T – 44 dias</b>
07/06/10	47	68	68	68	7ª	-
08/06/10	48	71	70	71	7ª	-
09/06/10	49	64	67	66	7ª	Revolvimento e Rega
10/06/10	50	56	52	54	8ª	-
11/06/10	51	62	65	64	8ª	Revolvimento e Rega
14/06/10	54	65	65	65	8ª	-
15/06/10	55	72	72	72	8ª	Revolvimento e Rega
16/06/10	56	54	60	57	8ª	-
17/06/10	57	61	66	64	9ª	-

<b>18/06/10</b>	58	64	70	67	9ª	Revolvimento e Rega
<b>19/06/10</b>	59	45	49	47	9ª	-
<b>21/06/10</b>	61	60	64	62	9ª	-
<b>22/06/10</b>	62	59	63	61	9ª	Revolvimento e Rega
<b>23/06/10</b>	63	47	50	49	9ª	-
<b>24/06/10</b>	64	45	48	47	10ª	Revolvimento e Rega
<b>25/06/10</b>	65	46	48	47	10ª	<b>Recolha amostra T – 65 dias</b>
<b>26/06/10</b>	66	47	47	47	10ª	-
<b>28/06/10</b>	68	40	47	44	10ª	Revolvimento e Rega
<b>29/06/10</b>	69	37	43	40	10ª	Crivagem da Pilha

**T** – Temperatura medida na pilha em Celsius (°C);

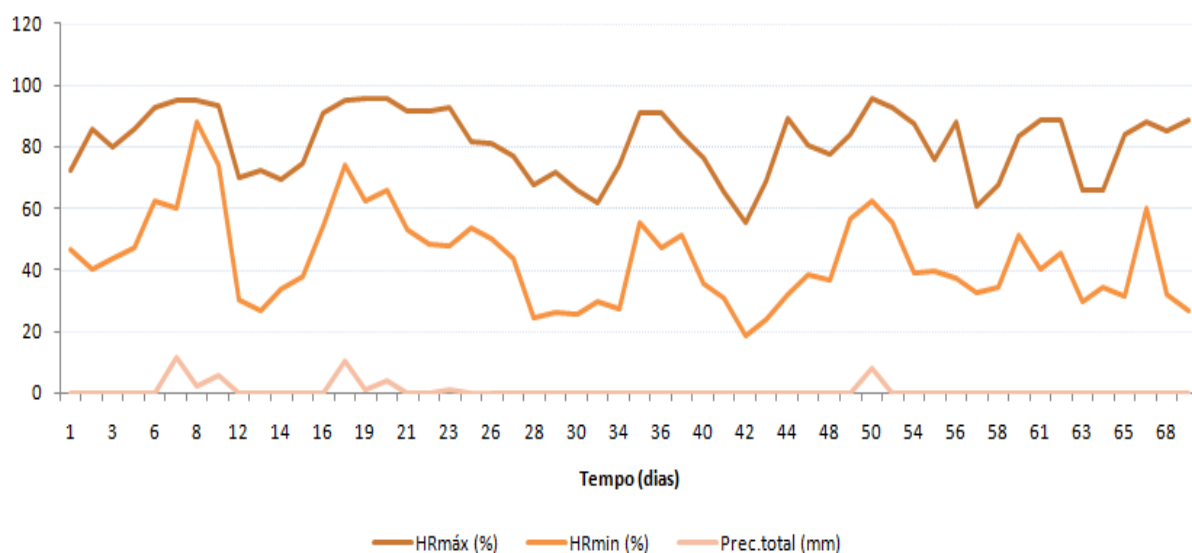
**S** – Semana do processo de compostagem.

**Dia** – Dia do processo de compostagem

**Quadro I.2.** Condições meteorológicas registadas durante o processo de compostagem da Pilha 2.

<b>Data</b>	<b>Tmáx</b>	<b>Tmin</b>	<b>HRmáx(%) (%)</b>	<b>HRmin (%)</b>	<b>Prec.total (mm)</b>
<b>22/04/10</b>	23	13	73	47	0
<b>23/04/10</b>	24	11	86	40	0
<b>24/04/10</b>	22	12	80	44	0
<b>26/04/10</b>	23	12	86	47	0
<b>27/04/10</b>	21	12	93	62	0
<b>28/04/10</b>	21	9	95	60	12
<b>29/04/10</b>	16	14	95	88	2
<b>30/04/10</b>	19	13	94	74	6
<b>03/05/10</b>	23	12	70	30	0
<b>04/05/10</b>	21	11	72	27	0
<b>05/05/10</b>	22	10	69	34	0
<b>06/05/10</b>	21	11	75	38	0
<b>07/05/10</b>	19	8	91	54	0
<b>08/05/10</b>	16	11	95	74	10
<b>10/05/10</b>	20	14	96	62	1
<b>11/05/10</b>	19	12	96	66	4
<b>12/05/10</b>	19	11	92	53	0
<b>13/05/10</b>	18	10	91	48	0
<b>14/05/10</b>	18	9	93	48	1
<b>15/05/10</b>	18	11	82	54	0
<b>17/05/10</b>	20	13	81	50	0
<b>18/05/10</b>	24	10	77	43	0
<b>19/05/10</b>	30	16	68	25	0
<b>20/05/10</b>	30	14	72	26	0
<b>21/05/10</b>	32	15	66	26	0
<b>24/05/10</b>	21	18	62	30	0
<b>25/05/10</b>	22	17	74	27	0
<b>26/05/10</b>	22	15	91	55	0
<b>27/05/10</b>	26	11	91	47	0
<b>28/05/10</b>	22	15	84	51	0
<b>31/05/10</b>	32	17	76	35	0

<b>01/06/10</b>	34	22	65	31	0
<b>02/06/10</b>	38	24	56	19	0
<b>03/06/10</b>	34	21	69	24	0
<b>04/06/10</b>	33	15	89	32	0
<b>07/06/10</b>	30	14	80	38	0
<b>08/06/10</b>	30	15	78	37	0,4
<b>09/06/10</b>	22	15	84	56	0
<b>10/06/10</b>	21	16	96	62	8,1
<b>11/06/10</b>	20	14	93	55	0,6
<b>14/06/10</b>	28	13	88	39	0
<b>15/06/10</b>	29	17	76	39	0
<b>16/06/10</b>	29	13	88	37	0
<b>17/06/10</b>	29	18	60	32	0
<b>18/06/10</b>	30	16	67	35	0
<b>19/06/10</b>	21	12	83	51	0
<b>21/06/10</b>	29	13	89	40	0
<b>22/06/10</b>	27	13	89	46	0
<b>23/06/10</b>	32	17	66	30	0
<b>24/06/10</b>	31	20	66	34	0
<b>25/06/10</b>	30	15	84	32	0
<b>26/06/10</b>	24	15	88	60	0
<b>28/06/10</b>	32	16	85	32	0
<b>29/06/10</b>	34	17	89	27	0



**Figura I.1.** Evolução da humidade (máxima e mínima) e da precipitação durante o processo de compostagem da Pilha 2.

## ANEXO II

**Quadro II.1.** Boletim de controlo das operações efectuadas na Pilha 7.

<b>Data</b>	<b>Dia</b>	<b>T1</b>	<b>T2</b>	<b>Tméd. Pilha</b>	<b>S</b>	<b>Observações</b>
<b>20/10/09</b>	1	51	53	52	1ª	Construção da Pilha e Revolvimento
<b>21/10/09</b>	2	53	60	57	1ª	-
<b>22/10/09</b>	3	53	58	56	1ª	-
<b>23/10/09</b>	4	66	70	68	1ª	-
<b>03/11/09</b>	15	50	51	51	3ª	-
<b>04/11/09</b>	16	51	51	51	3ª	-
<b>05/11/09</b>	17	52	50	51	3ª	-
<b>06/11/09</b>	18	52	51	52	3ª	-
<b>07/11/09</b>	19	51	51	51	3ª	-
<b>09/11/09</b>	21	49	50	50	3ª	-
<b>10/11/09</b>	22	50	50	50	4ª	-
<b>11/11/09</b>	23	51	50	51	4ª	-
<b>12/11/09</b>	24	50	49	50	4ª	-
<b>13/11/09</b>	25	51	51	51	4ª	-
<b>14/11/09</b>	26	50	51	51	4ª	Revolvimento e Rega
<b>16/11/09</b>	28	58	60	59	4ª	-
<b>17/11/09</b>	29	67	66	67	5ª	-
<b>18/11/09</b>	30	68	68	68	5ª	-
<b>19/11/09</b>	31	69	70	70	5ª	-
<b>20/11/09</b>	32	69	69	69	5ª	-
<b>23/11/09</b>	35	61	57	59	5ª	Revolvimento
<b>24/11/09</b>	36	53	51	52	6ª	-
<b>25/11/09</b>	37	60	61	61	6ª	-
<b>26/11/09</b>	38	60	60	60	6ª	-
<b>27/11/09</b>	39	60	59	60	6ª	-
<b>30/11/09</b>	42	58	56	57	6ª	-
<b>01/12/09</b>	43	56	56	56	7ª	-
<b>02/12/09</b>	44	56	55	56	7ª	-
<b>03/12/09</b>	45	53	55	54	7ª	-
<b>04/01/10</b>	77	40	38	39	7ª	-
<b>05/01/10</b>	78	39	37	38	12ª	-
<b>06/01/10</b>	79	38	38	38	12ª	Revolvimento
<b>07/01/10</b>	80	42	40	41	12ª	-
<b>08/01/10</b>	81	42	41	42	12ª	-
<b>09/01/10</b>	82	59	53	56	12ª	-
<b>11/01/10</b>	84	59	54	57	12ª	-
<b>12/01/10</b>	85	59	55	57	13ª	-
<b>13/01/10</b>	86	60	52	56	13ª	Revolvimento
<b>14/01/10</b>	87	43	45	44	13ª	-
<b>15/01/10</b>	88	59	54	57	13ª	-
<b>16/01/10</b>	89	63	54	59	13ª	-
<b>18/01/10</b>	91	66	56	61	13ª	-
<b>19/01/10</b>	92	63	56	60	14ª	-
<b>20/01/10</b>	93	64	58	61	14ª	Revolvimento
<b>21/01/10</b>	94	62	56	59	14ª	-

<b>22/01/10</b>	95	65	61	63	14 <sup>a</sup>	-
<b>25/01/10</b>	98	62	63	63	14 <sup>a</sup>	-
<b>26/01/10</b>	99	60	63	62	15 <sup>a</sup>	-
<b>27/01/10</b>	100	56	64	60	15 <sup>a</sup>	-
<b>28/01/10</b>	101	56	59	58	15 <sup>a</sup>	-
<b>29/01/10</b>	102	56	58	57	15 <sup>a</sup>	-
<b>30/01/10</b>	103	58	58	58	15 <sup>a</sup>	-
<b>01/02/10</b>	105	63	58	61	15 <sup>a</sup>	-
<b>02/02/10</b>	105	62	57	60	16 <sup>a</sup>	-
<b>03/02/10</b>	107	63	60	62	16 <sup>a</sup>	Revolvimento
<b>04/02/10</b>	108	55	54	55	16 <sup>a</sup>	-
<b>05/02/10</b>	109	59	56	58	16 <sup>a</sup>	-
<b>08/02/10</b>	112	66	65	66	16 <sup>a</sup>	-
<b>09/02/10</b>	113	68	66	67	17 <sup>a</sup>	-
<b>22/02/10</b>	126	57	53	55	17 <sup>a</sup>	-
<b>01/03/10</b>	133	62	53	58	17 <sup>a</sup>	-
<b>02/03/10</b>	134	63	52	58	17 <sup>a</sup>	Revolvimento
<b>03/03/10</b>	135	49	47	48	17 <sup>a</sup>	-
<b>08/03/10</b>	140	60	56	58	17 <sup>a</sup>	-
<b>09/03/10</b>	141	61	58	60	21 <sup>a</sup>	-
<b>10/03/10</b>	142	63	60	62	21 <sup>a</sup>	-
<b>11/03/10</b>	143	63	62	63	21 <sup>a</sup>	-
<b>15/03/10</b>	147	60	60	60	21 <sup>a</sup>	-
<b>16/03/10</b>	148	61	60	61	22 <sup>a</sup>	-
<b>17/03/10</b>	149	61	61	61	22 <sup>a</sup>	-
<b>18/03/10</b>	150	60	61	61	22 <sup>a</sup>	-
<b>19/03/10</b>	151	60	60	60	22 <sup>a</sup>	-
<b>20/03/10</b>	152	60	61	61	22 <sup>a</sup>	-
<b>22/03/10</b>	154	59	61	60	22 <sup>a</sup>	-
<b>23/03/10</b>	155	58	60	59	23 <sup>a</sup>	-
<b>24/03/10</b>	156	58	59	59	23 <sup>a</sup>	-
<b>25/03/10</b>	157	58	60	59	23 <sup>a</sup>	-
<b>26/03/10</b>	158	57	59	58	23 <sup>a</sup>	-
<b>27/03/10</b>	159	58	59	59	23 <sup>a</sup>	-
<b>29/03/10</b>	161	58	58	58	23 <sup>a</sup>	-
<b>30/03/10</b>	162	58	57	58	24 <sup>a</sup>	-
<b>31/03/10</b>	163	57	57	57	24 <sup>a</sup>	-
<b>01/04/10</b>	164	57	56	57	24 <sup>a</sup>	-
<b>03/04/10</b>	166	56	56	56	24 <sup>a</sup>	-
<b>05/04/10</b>	168	55	56	56	24 <sup>a</sup>	-
<b>06/04/10</b>	169	54	54	54	25 <sup>a</sup>	-
<b>07/04/10</b>	170	55	54	55	25 <sup>a</sup>	-
<b>08/04/10</b>	171	54	54	54	25 <sup>a</sup>	-
<b>09/04/10</b>	172	54	53	54	25 <sup>a</sup>	-
<b>10/04/10</b>	173	53	53	53	25 <sup>a</sup>	Revolvimento
<b>12/04/10</b>	175	50	51	51	25 <sup>a</sup>	-
<b>13/04/10</b>	176	50	53	52	26 <sup>a</sup>	-
<b>14/04/10</b>	177	51	54	53	26 <sup>a</sup>	-
<b>15/04/10</b>	178	52	54	53	26 <sup>a</sup>	-



<b>16/04/10</b>	179	53	54	54	26 <sup>a</sup>	-
<b>17/04/10</b>	180	56	57	57	26 <sup>a</sup>	-
<b>19/04/10</b>	182	61	58	60	26 <sup>a</sup>	-
<b>20/04/10</b>	183	59	58	59	27 <sup>a</sup>	-
<b>21/04/10</b>	184	58	58	58	27 <sup>a</sup>	-
<b>22/04/10</b>	185	57	57	57	27 <sup>a</sup>	-
<b>23/04/10</b>	186	60	57	59	27 <sup>a</sup>	-
<b>24/04/10</b>	187	61	58	60	27 <sup>a</sup>	-
<b>26/04/10</b>	189	59	57	58	27 <sup>a</sup>	-
<b>27/04/10</b>	190	58	57	58	28 <sup>a</sup>	Revolvimento
<b>28/04/10</b>	191	50	48	49	28 <sup>a</sup>	-
<b>29/04/10</b>	192	52	51	52	28 <sup>a</sup>	-
<b>30/04/10</b>	193	51	51	51	28 <sup>a</sup>	-
<b>03/05/10</b>	196	50	52	51	28 <sup>a</sup>	-
<b>04/05/10</b>	197	49	50	50	29 <sup>a</sup>	-
<b>05/05/10</b>	198	49	49	49	29 <sup>a</sup>	-
<b>06/05/10</b>	199	48	49	49	29 <sup>a</sup>	-
<b>07/05/10</b>	200	49	49	49	29 <sup>a</sup>	-
<b>08/05/10</b>	201	50	49	50	29 <sup>a</sup>	-
<b>10/05/10</b>	203	49	48	49	29 <sup>a</sup>	-
<b>11/05/10</b>	204	48	48	48	30 <sup>a</sup>	-
<b>12/05/10</b>	205	47	48	48	30 <sup>a</sup>	Revolvimento
<b>13/05/10</b>	206	43	44	44	30 <sup>a</sup>	-
<b>14/05/10</b>	207	43	43	43	30 <sup>a</sup>	-
<b>15/05/10</b>	208	43	43	43	30 <sup>a</sup>	-
<b>17/05/10</b>	210	43	44	44	30 <sup>a</sup>	-
<b>18/05/10</b>	211	43	43	43	31 <sup>a</sup>	-
<b>19/05/10</b>	212	43	43	43	31 <sup>a</sup>	-
<b>20/05/10</b>	213	42	42	42	31 <sup>a</sup>	-
<b>21/05/10</b>	214	41	42	42	31 <sup>a</sup>	-
<b>24/05/10</b>	217	42	42	42	31 <sup>a</sup>	-
<b>25/05/10</b>	218	41	42	42	32 <sup>a</sup>	Crivagem da Pilha

**T** – Temperatura medida na pilha em Celsius (°C);

**S** – Semana do processo de compostagem.

**Dia** – Dia do processo de compostagem

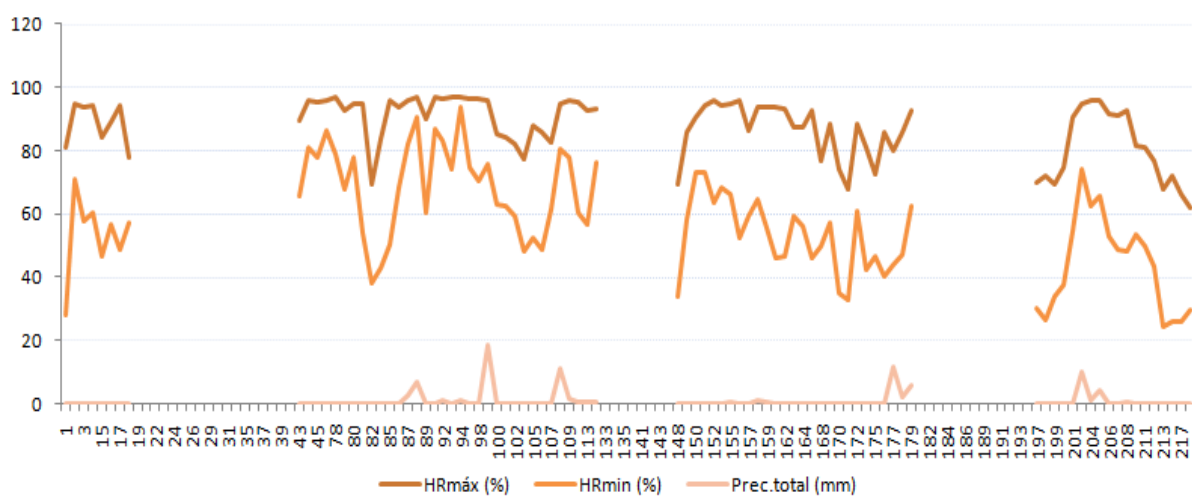
**Quadro II.2.** Condições meteorológicas registadas durante o processo de compostagem da Pilha 7.

<b>Data</b>	<b>Tmáx</b>	<b>Tmin</b>	<b>HRmáx (%)</b>	<b>HRmin (%)</b>	<b>Prec.total (mm)</b>
<b>20/10/09</b>	25	11	81	28	0
<b>21/10/09</b>	20	14	95	71	0
<b>22/10/09</b>	20	12	94	58	0
<b>23/10/09</b>	21	15	94	61	0
<b>03/11/09</b>	27	18	84	47	0
<b>04/11/09</b>	27	18	89	57	0
<b>05/11/09</b>	22	15	94	49	0
<b>06/11/09</b>	21	13	78	57	0

<b>07/11/09</b>	-	-	-	-	-
<b>09/11/09</b>	-	-	-	-	-
<b>10/11/09</b>	-	-	-	-	-
<b>11/11/09</b>	-	-	-	-	-
<b>12/11/09</b>	-	-	-	-	-
<b>13/11/09</b>	-	-	-	-	-
<b>14/11/09</b>	-	-	-	-	-
<b>16/11/09</b>	-	-	-	-	-
<b>17/11/09</b>	-	-	-	-	-
<b>18/11/09</b>	-	-	-	-	-
<b>19/11/09</b>	-	-	-	-	-
<b>20/11/09</b>	-	-	-	-	-
<b>23/11/09</b>	-	-	-	-	-
<b>24/11/09</b>	-	-	-	-	-
<b>25/11/09</b>	-	-	-	-	-
<b>26/11/09</b>	-	-	-	-	-
<b>27/11/09</b>	-	-	-	-	-
<b>30/11/09</b>	-	-	-	-	-
<b>01/12/09</b>	19	11	89	66	0
<b>02/12/09</b>	18	14	96	81	0
<b>03/12/09</b>	19	12	95	78	0
<b>04/01/10</b>	16	13	96	87	0
<b>05/01/10</b>	16	12	97	79	0
<b>06/01/10</b>	16	12	93	68	0
<b>07/01/10</b>	13	8	95	78	0
<b>08/01/10</b>	11	7	95	54	0
<b>09/01/10</b>	10	5	69	38	0
<b>11/01/10</b>	14	3	84	43	0
<b>12/01/10</b>	16	6	96	50	0
<b>13/01/10</b>	15	12	94	68	0
<b>14/01/10</b>	17	10	96	82	2,4
<b>15/01/10</b>	16	9	97	90	7,1
<b>16/01/10</b>	16	11	90	60	0
<b>18/01/10</b>	16	12	97	87	0
<b>19/01/10</b>	18	12	96	83	1
<b>20/01/10</b>	17	12	97	74	0,2
<b>21/01/10</b>	15	9	97	94	1
<b>22/01/10</b>	16	10	96	75	0
<b>25/01/10</b>	17	9	96	70	0
<b>26/01/10</b>	15	11	96	76	18,4
<b>27/01/10</b>	17	12	85	63	0
<b>28/01/10</b>	15	9	84	62	0
<b>29/01/10</b>	12	5	82	59	0,2
<b>30/01/10</b>	14	7	77	48	0
<b>01/02/10</b>	15	9	88	52	0
<b>02/02/10</b>	17	7	86	49	0
<b>03/02/10</b>	16	7	82	61	0
<b>04/02/10</b>	15	11	95	80	11,1
<b>05/02/10</b>	16	12	96	78	1,8

<b>08/02/10</b>	17	11	95	60	0,8
<b>09/02/10</b>	19	7	93	57	0,4
<b>22/02/10</b>	15	8	93	76	0,8
<b>01/03/10</b>	-	-	-	-	-
<b>02/03/10</b>	-	-	-	-	-
<b>03/03/10</b>	-	-	-	-	-
<b>08/03/10</b>	-	-	-	-	-
<b>09/03/10</b>	-	-	-	-	-
<b>10/03/10</b>	-	-	-	-	-
<b>11/03/10</b>	-	-	-	-	-
<b>15/03/10</b>	-	-	-	-	-
<b>16/03/10</b>	18	8	70	34	0
<b>17/03/10</b>	18	9	86	58	0
<b>18/03/10</b>	18	12	91	73	0
<b>19/03/10</b>	19	14	94	73	0
<b>20/03/10</b>	21	14	96	64	0,2
<b>22/03/10</b>	22	15	94	68	0,2
<b>23/03/10</b>	22	14	95	66	0,4
<b>24/03/10</b>	21	12	96	52	0,2
<b>25/03/10</b>	17	15	86	60	0
<b>26/03/10</b>	17	11	94	65	1,2
<b>27/03/10</b>	18	10	94	56	0,8
<b>29/03/10</b>	20	7	94	46	0
<b>30/03/10</b>	18	7	93	47	0
<b>31/03/10</b>	16	10	87	59	0
<b>01/04/10</b>	16	8	87	56	0
<b>03/04/10</b>	18	8	93	46	0
<b>05/04/10</b>	20	9	77	50	0
<b>06/04/10</b>	18	8	88	57	0
<b>07/04/10</b>	19	8	74	35	0
<b>08/04/10</b>	24	11	68	33	0
<b>09/04/10</b>	21	10	88	61	0
<b>10/04/10</b>	22	11	81	42	0
<b>12/04/10</b>	23	13	73	47	0
<b>13/04/10</b>	24	11	86	40	0
<b>14/04/10</b>	22	12	80	44	11,5
<b>15/04/10</b>	23	12	86	47	2,1
<b>16/04/10</b>	21	12	93	62	5,9
<b>17/04/10</b>	-	-	-	-	-
<b>19/04/10</b>	-	-	-	-	-
<b>20/04/10</b>	-	-	-	-	-
<b>21/04/10</b>	-	-	-	-	-
<b>22/04/10</b>	-	-	-	-	-
<b>23/04/10</b>	-	-	-	-	-
<b>24/04/10</b>	-	-	-	-	-
<b>26/04/10</b>	-	-	-	-	-
<b>27/04/10</b>	-	-	-	-	-
<b>28/04/10</b>	-	-	-	-	-
<b>29/04/10</b>	-	-	-	-	-

<b>30/04/10</b>	-	-	-	-	-
<b>03/05/10</b>	-	-	-	-	-
<b>04/05/10</b>	23	12	70	30	0
<b>05/05/10</b>	21	11	72	27	0
<b>06/05/10</b>	22	10	69	34	0
<b>07/05/10</b>	21	11	75	38	0
<b>08/05/10</b>	19	8	91	54	0
<b>10/05/10</b>	16	11	95	74	10,3
<b>11/05/10</b>	20	14	96	62	1
<b>12/05/10</b>	19	12	96	66	4
<b>13/05/10</b>	19	11	92	53	0
<b>14/05/10</b>	18	10	91	48	0
<b>15/05/10</b>	18	9	93	48	0,8
<b>17/05/10</b>	18	11	82	54	0
<b>18/05/10</b>	20	13	81	50	0
<b>19/05/10</b>	24	10	77	43	0
<b>20/05/10</b>	30	16	68	25	0
<b>21/05/10</b>	30	14	72	26	0
<b>24/05/10</b>	32	15	66	26	0
<b>25/05/10</b>	32	18	62	30	0



**Figura II.1.** Evolução da humidade (máxima e mínima) e da precipitação durante o processo de compostagem da Pilha 7.

### ANEXO III

**Quadro III.1.** Boletim de controlo das operações efectuadas na Pilha 9.

<b>Data</b>	<b>Dia</b>	<b>T1</b>	<b>T2</b>	<b>Tméd. pilha</b>	<b>S</b>	<b>Observações</b>
<b>20/07/09</b>	1	56	55	56	1ª	Construção da Pilha e Revolvimento
<b>21/07/09</b>	2	57	57	57	1ª	-
<b>22/07/09</b>	3	65	68	67	1ª	-
<b>23/07/09</b>	4	66	69	68	1ª	-
<b>24/07/09</b>	5	64	66	65	1ª	-
<b>25/07/09</b>	6	65	64	65	1ª	-
<b>27/07/09</b>	8	65	63	64	2ª	-
<b>28/07/09</b>	9	64	63	64	2ª	-
<b>29/07/09</b>	10	65	63	64	2ª	-
<b>30/07/09</b>	11	65	63	64	2ª	-
<b>31/07/09</b>	12	64	64	64	2ª	-
<b>03/08/09</b>	15	62	63	63	3ª	-
<b>04/08/09</b>	16	58	60	59	3ª	-
<b>05/08/09</b>	17	58	60	59	3ª	-
<b>06/08/09</b>	18	59	60	60	3ª	-
<b>07/08/09</b>	19	64	65	65	3ª	-
<b>08/08/09</b>	20	67	65	66	3ª	Revolvimento e Rega
<b>10/08/09</b>	22	69	71	70	4ª	-
<b>11/08/09</b>	23	70	71	71	4ª	-
<b>12/08/09</b>	24	69	71	70	4ª	Revolvimento e Rega
<b>13/08/09</b>	25	64	68	66	4ª	-
<b>14/08/09</b>	26	73	73	73	4ª	-
<b>15/08/09</b>	27	68	69	69	4ª	-
<b>17/08/09</b>	29	65	66	66	5ª	-
<b>18/08/09</b>	30	66	66	66	5ª	-
<b>19/08/09</b>	31	67	65	66	5ª	-
<b>20/08/09</b>	32	65	64	65	5ª	-
<b>21/08/09</b>	33	63	64	64	5ª	-
<b>24/08/09</b>	36	61	62	62	6ª	-
<b>01/09/09</b>	44	59	60	60	7ª	-
<b>02/09/09</b>	45	58	59	59	7ª	-
<b>03/09/09</b>	46	56	58	57	7ª	Revolvimento e Rega
<b>04/09/09</b>	47	50	51	51	7ª	-
<b>05/09/09</b>	48	58	63	61	7ª	-
<b>07/09/09</b>	50	72	70	71	8ª	-
<b>08/09/09</b>	51	70	69	70	8ª	-
<b>09/09/09</b>	52	69	68	69	8ª	-
<b>10/09/09</b>	53	68	68	68	8ª	-
<b>11/09/09</b>	54	63	65	64	8ª	-
<b>12/09/09</b>	55	65	64	65	8ª	-
<b>14/09/09</b>	57	58	61	60	9ª	-
<b>15/09/09</b>	58	58	60	59	9ª	Revolvimento
<b>16/09/09</b>	59	51	51	51	9ª	-
<b>17/09/09</b>	60	61	58	60	9ª	-

<b>18/09/09</b>	61	63	65	64	9 <sup>a</sup>	-
<b>21/09/09</b>	64	62	61	62	10 <sup>a</sup>	-
<b>22/09/09</b>	65	61	60	61	10 <sup>a</sup>	Revolvimento
<b>23/09/09</b>	66	65	66	66	10 <sup>a</sup>	-
<b>24/09/09</b>	67	69	70	70	10 <sup>a</sup>	-
<b>25/09/09</b>	68	71	72	72	10 <sup>a</sup>	Revolvimento
<b>28/09/09</b>	71	69	72	71	11 <sup>a</sup>	-
<b>29/09/09</b>	72	72	73	73	11 <sup>a</sup>	-
<b>30/09/09</b>	73	70	71	71	11 <sup>a</sup>	-
<b>01/10/09</b>	74	69	70	70	11 <sup>a</sup>	-
<b>02/10/09</b>	75	68	68	68	11 <sup>a</sup>	-
<b>03/10/09</b>	76	68	67	68	11 <sup>a</sup>	-
<b>05/10/09</b>	78	66	67	67	12 <sup>a</sup>	-
<b>06/10/09</b>	79	65	66	66	12 <sup>a</sup>	-
<b>07/10/09</b>	80	64	65	65	12 <sup>a</sup>	-
<b>08/10/09</b>	81	64	64	64	12 <sup>a</sup>	-
<b>09/10/09</b>	82	63	61	62	12 <sup>a</sup>	-
<b>12/10/09</b>	85	58	56	57	13 <sup>a</sup>	-
<b>13/10/09</b>	86	57	55	56	13 <sup>a</sup>	Revolvimento e Rega
<b>14/10/09</b>	87	53	56	55	13 <sup>a</sup>	-
<b>15/10/09</b>	88	60	63	62	13 <sup>a</sup>	-
<b>16/10/09</b>	89	64	63	64	13 <sup>a</sup>	-
<b>17/10/09</b>	90	63	62	63	13 <sup>a</sup>	-
<b>19/10/09</b>	92	71	73	72	14 <sup>a</sup>	Revolvimento
<b>20/10/09</b>	93	54	56	55	14 <sup>a</sup>	-
<b>21/10/09</b>	94	59	58	59	14 <sup>a</sup>	-
<b>22/10/09</b>	95	63	64	64	14 <sup>a</sup>	-
<b>23/10/09</b>	96	66	70	68	14 <sup>a</sup>	-
<b>03/11/09</b>	107	60	60	60	16 <sup>a</sup>	-
<b>04/11/09</b>	108	59	60	60	16 <sup>a</sup>	-
<b>05/11/09</b>	109	58	60	59	16 <sup>a</sup>	-
<b>06/11/09</b>	110	54	53	54	16 <sup>a</sup>	-
<b>07/11/09</b>	111	52	53	53	16 <sup>a</sup>	-
<b>09/11/09</b>	113	53	53	53	17 <sup>a</sup>	-
<b>10/11/09</b>	114	52	54	53	17 <sup>a</sup>	-
<b>11/11/09</b>	115	54	54	54	17 <sup>a</sup>	-
<b>12/11/09</b>	116	54	54	54	17 <sup>a</sup>	-
<b>13/11/09</b>	117	55	53	54	17 <sup>a</sup>	-
<b>14/11/09</b>	118	54	53	54	17 <sup>a</sup>	Revolvimento e Rega
<b>16/11/09</b>	120	59	60	60	18 <sup>a</sup>	-
<b>17/11/09</b>	121	60	60	49	18 <sup>a</sup>	-
<b>18/11/09</b>	122	61	59	49	18 <sup>a</sup>	-
<b>19/11/09</b>	123	61	61	50	18 <sup>a</sup>	-
<b>20/11/09</b>	124	61	63	50	18 <sup>a</sup>	-
<b>23/11/09</b>	127	69	72	53	19 <sup>a</sup>	-
<b>24/11/09</b>	128	70	71	53	19 <sup>a</sup>	Revolvimento
<b>25/11/09</b>	129	59	60	48	19 <sup>a</sup>	-
<b>26/11/09</b>	130	60	60	48	19 <sup>a</sup>	-
<b>27/11/09</b>	131	68	68	52	19 <sup>a</sup>	-

<b>30/11/09</b>	134	69	70	53	20 <sup>a</sup>	-
<b>01/12/09</b>	135	69	70	53	20 <sup>a</sup>	-
<b>02/12/09</b>	136	69	70	52	20 <sup>a</sup>	-
<b>03/12/09</b>	137	52	53	44	20 <sup>a</sup>	-
<b>04/01/10</b>	169	53	50	42	25 <sup>a</sup>	-
<b>05/01/10</b>	170	51	50	42	25 <sup>a</sup>	-
<b>06/01/10</b>	171	51	51	42	25 <sup>a</sup>	Revolvimento
<b>07/01/10</b>	172	40	41	38	25 <sup>a</sup>	-
<b>08/01/10</b>	173	47	47	41	25 <sup>a</sup>	-
<b>09/01/10</b>	174	54	53	45	25 <sup>a</sup>	-
<b>11/01/10</b>	176	54	54	45	26 <sup>a</sup>	-
<b>12/01/10</b>	177	55	54	45	26 <sup>a</sup>	-
<b>13/01/10</b>	178	54	56	47	26 <sup>a</sup>	Revolvimento
<b>14/01/10</b>	179	46	49	45	26 <sup>a</sup>	-
<b>15/01/10</b>	180	47	48	45	26 <sup>a</sup>	-
<b>16/01/10</b>	181	47	49	45	26 <sup>a</sup>	-
<b>18/01/10</b>	183	49	51	46	27 <sup>a</sup>	-
<b>19/01/10</b>	184	49	53	48	27 <sup>a</sup>	-
<b>20/01/10</b>	185	50	51	47	27 <sup>a</sup>	Revolvimento
<b>21/01/10</b>	186	43	44	43	27 <sup>a</sup>	-
<b>22/01/10</b>	187	45	47	44	27 <sup>a</sup>	-
<b>25/01/10</b>	190	48	51	45	28 <sup>a</sup>	-
<b>26/01/10</b>	191	49	51	47	28 <sup>a</sup>	-
<b>27/01/10</b>	192	51	52	47	28 <sup>a</sup>	-
<b>28/01/10</b>	193	53	53	48	28 <sup>a</sup>	-
<b>29/01/10</b>	194	52	52	47	28 <sup>a</sup>	-
<b>30/01/10</b>	195	51	52	45	28 <sup>a</sup>	-
<b>01/02/10</b>	197	50	51	46	29 <sup>a</sup>	-
<b>02/02/10</b>	198	49	50	46	29 <sup>a</sup>	-
<b>03/02/10</b>	199	51	50	46	29 <sup>a</sup>	Revolvimento
<b>04/02/10</b>	200	46	38	39	29 <sup>a</sup>	-
<b>05/02/10</b>	201	45	40	40	29 <sup>a</sup>	-
<b>08/02/10</b>	204	49	46	43	30 <sup>a</sup>	-
<b>09/02/10</b>	205	48	47	54	30 <sup>a</sup>	-
<b>22/02/10</b>	218	46	45	53	32 <sup>a</sup>	-
<b>01/03/10</b>	225	45	43	52	33 <sup>a</sup>	-
<b>02/03/10</b>	226	46	43	52	33 <sup>a</sup>	Revolvimento
<b>03/03/10</b>	227	30	31	50	33 <sup>a</sup>	-
<b>08/03/10</b>	232	39	41	56	34 <sup>a</sup>	-
<b>09/03/10</b>	233	39	40	50	34 <sup>a</sup>	-
<b>10/03/10</b>	234	38	40	50	34 <sup>a</sup>	-
<b>11/03/10</b>	235	38	39	54	34 <sup>a</sup>	-
<b>15/03/10</b>	239	39	37	53	35 <sup>a</sup>	-
<b>16/03/10</b>	240	37	37	53	35 <sup>a</sup>	-
<b>17/03/10</b>	241	38	37	53	35 <sup>a</sup>	-
<b>18/03/10</b>	242	39	38	45	35 <sup>a</sup>	-
<b>19/03/10</b>	243	38	37	45	35 <sup>a</sup>	-
<b>20/03/10</b>	244	37	37	44	35 <sup>a</sup>	-
<b>22/03/10</b>	246	34	37	44	36 <sup>a</sup>	-

<b>23/03/10</b>	247	34	37	39	36 <sup>a</sup>	
<b>24/03/10</b>	248	35	37	42	36 <sup>a</sup>	-
<b>25/03/10</b>	249	35	36	45	36 <sup>a</sup>	-
<b>26/03/10</b>	250	36	36	45	36 <sup>a</sup>	-
<b>27/03/10</b>	251	35	35	45	36 <sup>a</sup>	-
<b>29/03/10</b>	253	35	34	44	37 <sup>a</sup>	-
<b>30/03/10</b>	254	34	34	40	37 <sup>a</sup>	-
<b>31/03/10</b>	255	34	35	41	37 <sup>a</sup>	-
<b>01/04/10</b>	256	34	34	41	37 <sup>a</sup>	-
<b>03/04/10</b>	258	33	34	42	37 <sup>a</sup>	-
<b>05/04/10</b>	260	33	33	41	38 <sup>a</sup>	-
<b>06/04/10</b>	261	34	33	42	38 <sup>a</sup>	-
<b>07/04/10</b>	262	35	35	39	38 <sup>a</sup>	-
<b>08/04/10</b>	263	36	35	40	38 <sup>a</sup>	-
<b>09/04/10</b>	264	36	37	43	38 <sup>a</sup>	-
<b>10/04/10</b>	265	35	37	43	38 <sup>a</sup>	Revolvimento
<b>12/04/10</b>	267	37	38	45	39 <sup>a</sup>	-
<b>13/04/10</b>	268	40	40	47	39 <sup>a</sup>	-
<b>14/04/10</b>	269	42	40	46	39 <sup>a</sup>	-
<b>15/04/10</b>	270	41	41	46	39 <sup>a</sup>	-
<b>16/04/10</b>	271	41	42	46	39 <sup>a</sup>	-
<b>17/04/10</b>	272	42	42	46	39 <sup>a</sup>	-
<b>19/04/10</b>	274	43	43	47	40 <sup>a</sup>	-
<b>20/04/10</b>	275	41	42	44	40 <sup>a</sup>	-
<b>21/04/10</b>	276	40	40	43	40 <sup>a</sup>	-
<b>22/04/10</b>	277	39	40	45	40 <sup>a</sup>	-
<b>23/04/10</b>	278	42	41	45	40 <sup>a</sup>	-
<b>24/04/10</b>	279	41	41	44	40 <sup>a</sup>	-
<b>26/04/10</b>	281	42	41	43	41 <sup>a</sup>	-
<b>27/04/10</b>	282	42	41	44	41 <sup>a</sup>	Revolvimento
<b>28/04/10</b>	283	37	38	34	41 <sup>a</sup>	-
<b>29/04/10</b>	284	40	41	40	41 <sup>a</sup>	-
<b>30/04/10</b>	285	41	41	40	41 <sup>a</sup>	-
<b>03/05/10</b>	288	42	41	40	42 <sup>a</sup>	-
<b>04/05/10</b>	289	40	39	39	42 <sup>a</sup>	-
<b>05/05/10</b>	290	40	40	40	42 <sup>a</sup>	-
<b>06/05/10</b>	291	39	40	39	42 <sup>a</sup>	Crivagem da Pilha

**T** – Temperatura medida na pilha em Celsius (°C);

**S** – Semana do processo de compostagem.

**Dia** – Dia do processo de compostagem

**Quadro III.2.** Condições meteorológicas registadas durante o processo de compostagem da Pilha 9.

<b>Data</b>	<b>Tmáx</b>	<b>Tmin</b>	<b>HRmáx (%)</b>	<b>HRmin (%)</b>	<b>Prec.total (mm)</b>
<b>20/07/09</b>	29	18	94	55	0
<b>21/07/09</b>	-	-	-	-	-
<b>22/07/09</b>	-	-	-	-	-
<b>23/07/09</b>	-	-	-	-	-

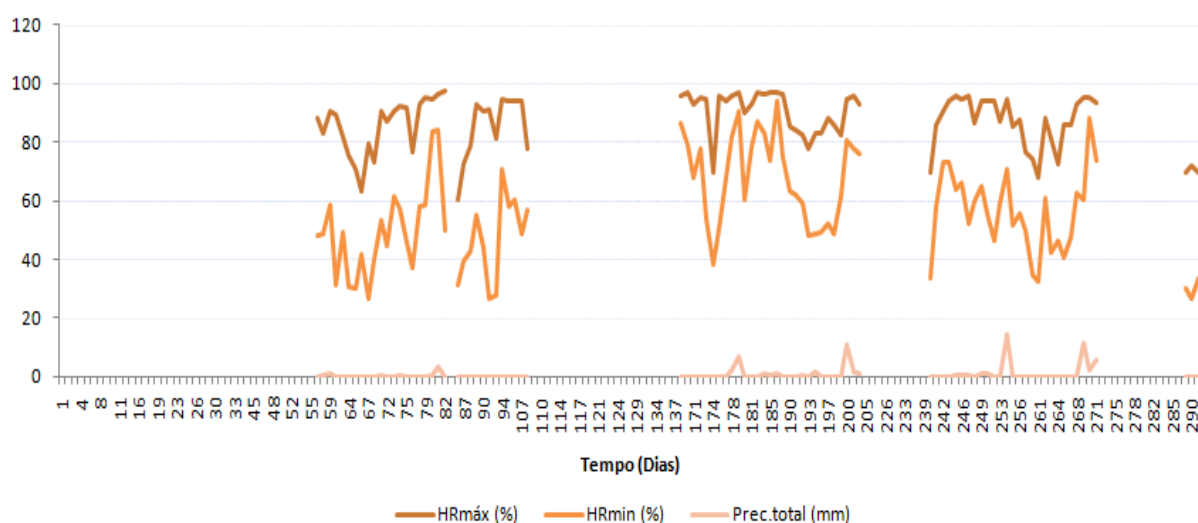


<b>24/07/09</b>	-	-	-	-	-
<b>25/07/09</b>	-	-	-	-	-
<b>27/07/09</b>	-	-	-	-	-
<b>28/07/09</b>	-	-	-	-	-
<b>29/07/09</b>	-	-	-	-	-
<b>30/07/09</b>	-	-	-	-	-
<b>31/07/09</b>	-	-	-	-	-
<b>03/08/09</b>	-	-	-	-	-
<b>04/08/09</b>	-	-	-	-	-
<b>05/08/09</b>	-	-	-	-	-
<b>06/08/09</b>	-	-	-	-	-
<b>07/08/09</b>	-	-	-	-	-
<b>08/08/09</b>	-	-	-	-	-
<b>10/08/09</b>	-	-	-	-	-
<b>11/08/09</b>	-	-	-	-	-
<b>12/08/09</b>	-	-	-	-	-
<b>13/08/09</b>	-	-	-	-	-
<b>14/08/09</b>	-	-	-	-	-
<b>15/08/09</b>	-	-	-	-	-
<b>17/08/09</b>	-	-	-	-	-
<b>18/08/09</b>	-	-	-	-	-
<b>19/08/09</b>	-	-	-	-	-
<b>20/08/09</b>	-	-	-	-	-
<b>21/08/09</b>	-	-	-	-	-
<b>24/08/09</b>	-	-	-	-	-
<b>01/09/09</b>	-	-	-	-	-
<b>02/09/09</b>	-	-	-	-	-
<b>03/09/09</b>	-	-	-	-	-
<b>04/09/09</b>	-	-	-	-	-
<b>05/09/09</b>	-	-	-	-	-
<b>07/09/09</b>	-	-	-	-	-
<b>08/09/09</b>	-	-	-	-	-
<b>09/09/09</b>	-	-	-	-	-
<b>10/09/09</b>	-	-	-	-	-
<b>11/09/09</b>	-	-	-	-	-
<b>12/09/09</b>	-	-	-	-	-
<b>14/09/09</b>	27	16	88	48	0
<b>15/09/09</b>	27	18	83	49	0,4
<b>16/09/09</b>	24	16	91	59	0,8
<b>17/09/09</b>	28	13	89	31	0
<b>18/09/09</b>	22	15	82	50	0
<b>21/09/09</b>	29	16	75	31	0
<b>22/09/09</b>	30	16	71	30	0
<b>23/09/09</b>	28	19	63	42	0
<b>24/09/09</b>	33	16	80	27	0
<b>25/09/09</b>	30	17	73	40	0
<b>28/09/09</b>	26	17	91	53	0,2
<b>29/09/09</b>	28	17	87	45	0
<b>30/09/09</b>	26	18	90	61	0

<b>01/10/09</b>	25	18	92	57	0,2
<b>02/10/09</b>	28	16	92	46	0
<b>03/10/09</b>	30	17	77	37	0
<b>05/10/09</b>	27	19	93	58	0
<b>06/10/09</b>	26	15	95	59	0
<b>07/10/09</b>	24	19	95	84	0,6
<b>08/10/09</b>	24	19	96	84	3,4
<b>09/10/09</b>	27	17	97	50	0
<b>12/10/09</b>	-	-	-	-	-
<b>13/10/09</b>	32	22	61	31	0
<b>14/10/09</b>	30	20	72	39	0
<b>15/10/09</b>	28	18	79	43	0
<b>16/10/09</b>	27	16	93	55	0
<b>17/10/09</b>	28	16	90	44	0
<b>19/10/09</b>	28	15	91	27	0
<b>20/10/09</b>	25	11	81	28	0
<b>21/10/09</b>	20	14	95	71	0
<b>22/10/09</b>	20	12	94	58	0
<b>23/10/09</b>	21	15	94	61	0
<b>03/11/09</b>	22	15	94	49	0
<b>04/11/09</b>	21	13	78	57	0
<b>05/11/09</b>	-	-	-	-	-
<b>06/11/09</b>	-	-	-	-	-
<b>07/11/09</b>	-	-	-	-	-
<b>09/11/09</b>	-	-	-	-	-
<b>10/11/09</b>	-	-	-	-	-
<b>11/11/09</b>	-	-	-	-	-
<b>12/11/09</b>	-	-	-	-	-
<b>13/11/09</b>	-	-	-	-	-
<b>14/11/09</b>	-	-	-	-	-
<b>16/11/09</b>	-	-	-	-	-
<b>17/11/09</b>	-	-	-	-	-
<b>18/11/09</b>	-	-	-	-	-
<b>19/11/09</b>	-	-	-	-	-
<b>20/11/09</b>	-	-	-	-	-
<b>23/11/09</b>	-	-	-	-	-
<b>24/11/09</b>	-	-	-	-	-
<b>25/11/09</b>	-	-	-	-	-
<b>26/11/09</b>	-	-	-	-	-
<b>27/11/09</b>	-	-	-	-	-
<b>30/11/09</b>	-	-	-	-	-
<b>01/12/09</b>	-	-	-	-	-
<b>02/12/09</b>	-	-	-	-	-
<b>03/12/09</b>	-	-	-	-	-
<b>04/01/10</b>	16	13	96	87	0
<b>05/01/10</b>	16	12	97	79	0
<b>06/01/10</b>	16	12	93	68	0
<b>07/01/10</b>	13	8	95	78	0
<b>08/01/10</b>	11	7	95	54	0

<b>09/01/10</b>	10	5	69	38	0
<b>11/01/10</b>	14	6	96	50	0
<b>12/01/10</b>	16	12	94	68	0
<b>13/01/10</b>	15	10	96	82	2,4
<b>14/01/10</b>	17	9	97	90	7,1
<b>15/01/10</b>	16	11	90	60	0
<b>16/01/10</b>	16	9	93	78	0
<b>18/01/10</b>	16	12	97	87	0
<b>19/01/10</b>	18	12	96	83	1
<b>20/01/10</b>	17	12	97	74	0,2
<b>21/01/10</b>	15	9	97	94	1
<b>22/01/10</b>	16	10	96	75	0
<b>25/01/10</b>	17	12	85	63	0
<b>26/01/10</b>	15	9	84	62	0
<b>27/01/10</b>	12	5	82	59	0,2
<b>28/01/10</b>	14	7	77	48	0
<b>29/01/10</b>	18	5	83	49	1,4
<b>30/01/10</b>	15	5	83	49	0
<b>01/02/10</b>	15	9	88	52	0
<b>02/02/10</b>	17	7	86	49	0
<b>03/02/10</b>	16	7	82	61	0
<b>04/02/10</b>	15	11	95	80	11
<b>05/02/10</b>	16	12	96	78	1,8
<b>08/02/10</b>	15	8	93	76	0,8
<b>09/02/10</b>	-	-	-	-	-
<b>22/02/10</b>	-	-	-	-	-
<b>01/03/10</b>	-	-	-	-	-
<b>02/03/10</b>	-	-	-	-	-
<b>03/03/10</b>	-	-	-	-	-
<b>08/03/10</b>	-	-	-	-	-
<b>09/03/10</b>	-	-	-	-	-
<b>10/03/10</b>	-	-	-	-	-
<b>11/03/10</b>	-	-	-	-	-
<b>15/03/10</b>	-	-	-	-	-
<b>16/03/10</b>	18	8	70	34	0
<b>17/03/10</b>	18	9	86	58	0
<b>18/03/10</b>	18	12	91	73	0
<b>19/03/10</b>	19	14	94	73	0
<b>20/03/10</b>	21	14	96	64	0,2
<b>22/03/10</b>	22	14	95	66	0,4
<b>23/03/10</b>	22	12	96	52	0,2
<b>24/03/10</b>	21	15	86	60	0
<b>25/03/10</b>	17	11	94	65	1,2
<b>26/03/10</b>	17	10	94	56	0,8
<b>27/03/10</b>	18	7	94	46	0
<b>29/03/10</b>	20	10	87	59	0
<b>30/03/10</b>	18	9	94	71	14,3
<b>31/03/10</b>	16	11	85	52	0
<b>01/04/10</b>	16	8	87	56	0

<b>03/04/10</b>	20	9	77	50	0
<b>05/04/10</b>	19	8	74	35	0
<b>06/04/10</b>	24	11	68	33	0
<b>07/04/10</b>	21	10	88	61	0
<b>08/04/10</b>	22	11	81	42	0
<b>09/04/10</b>	23	13	73	47	0
<b>10/04/10</b>	24	11	86	40	0
<b>12/04/10</b>	23	12	86	47	0
<b>13/04/10</b>	21	12	93	62	0
<b>14/04/10</b>	21	9	95	60	11,5
<b>15/04/10</b>	16	14	95	88	2,1
<b>16/04/10</b>	19	13	94	74	5,9
<b>17/04/10</b>	-	-	-	-	-
<b>19/04/10</b>	-	-	-	-	-
<b>20/04/10</b>	-	-	-	-	-
<b>21/04/10</b>	-	-	-	-	-
<b>22/04/10</b>	-	-	-	-	-
<b>23/04/10</b>	-	-	-	-	-
<b>24/04/10</b>	-	-	-	-	-
<b>26/04/10</b>	-	-	-	-	-
<b>27/04/10</b>	-	-	-	-	-
<b>28/04/10</b>	-	-	-	-	-
<b>29/04/10</b>	-	-	-	-	-
<b>30/04/10</b>	-	-	-	-	-
<b>03/05/10</b>	-	-	-	-	-
<b>04/05/10</b>	23	12	70	30	0
<b>05/05/10</b>	21	11	72	27	0
<b>06/05/10</b>	22	10	69	34	0



**Figura III.1.** Evolução da humidade (máxima e mínima) e da precipitação durante o processo de compostagem da Pilha 9.

## ANEXO IV

**Quadro I** – Valores máximos admissíveis para os teores “totais” de metais pesados, materiais inertes antropogénicos\*, pedras de granulometria superior a 5 mm no Composto (valores reportados à matéria seca) e valores máximos admissíveis relativos à concentração em microrganismos patogénicos (valores reportados à matéria fresca).

Parâmetro	Composto			
	Classe I	Classe II	Classe II A	Classe III
Cádmio (mg/kg)	0,7	1,5	3	5,0
Chumbo (mg/kg)	100	150	300	500
Cobre (mg/kg)	100	200	400	600
Crómio (mg/kg)	100	150	300	400
Mercurio (mg/kg)	0,7	1,5	3	5,0
Níquel (mg/kg)	50	100	200	200
Zinco (mg/kg)	200	500	1000	1500
Materiais inertes antropogénicos (%)*	0,5	1,0	2,0	3,0
Pedras > 5 mm (%)	5,0	5,0	5	-
<i>Salmonella</i> spp.	Ausente em 25 g	Ausente em 25 g	Ausente em 25 g	Ausente em 25g
<i>Escherichia coli</i> (NMP/g)	1000	1000	1000	1000

\* Incluem vidro, metais e plásticos, cujas partículas apresentem uma granulometria superior a 2 mm.

Nota: Os teores “totais” corresponderão à fracção solúvel em água-régia.

## ANEXO V

**Quadro V.1.** Resultados dos pesos frescos e secos obtidos nos ensaios para determinação do Índice de Crescimento.

		Peso fresco (g)			Peso seco (g)		
		1	2	3	1	2	3
EB	Agrião	0,1477	0,0890	0,0869	0,0448	0,0634	0,0363
	Alface	0,2691	0,3277	0,3213	0,0129	0,0142	0,0141
	Tomate	0,8384	1,1131	0,9599	0,0474	0,0616	0,0533
CF2	Agrião	0,2924	0,3238	0,2432	0,0367	0,0276	0,0320
	Alface	0,1996	0,2730	0,1979	0,0088	0,0128	0,0091
	Tomate	1,0618	0,9440	0,9406	0,0605	0,0528	0,0547
CF7	Agrião	0,3179	0,2839	0,2406	0,0272	0,0416	0,0380
	Alface	0,1679	0,1093	0,1904	0,0183	0,0097	0,0163
	Tomate	1,4960	1,4921	1,2273	0,0790	0,0756	0,0622
CF9	Agrião	0,2160	0,1730	0,3100	0,0322	0,0404	0,0398
	Alface	0,3368	0,2356	0,3831	0,0157	0,0134	0,0220
	Tomate	1,5675	1,4722	1,3379	0,0805	0,0755	0,0696